

REGENSBURGER GEOGRAPHISCHE SCHRIFTEN

Herausgegeben von
KARL HERMES, HEINZ KLUG, JOHANNES OBST

Schriftleitung
Kurt E. Klein

Heft 15

KURT E. KLEIN

Theoretische Untersuchung eines räumlichen
Konkurrenzmodells zur regionalen Verkehrsverteilung
Mit Süddeutschland als Anwendungsbeispiel

1980

Institut für Geographie an der Universität Regensburg
Selbstverlag

KURT E. KLEIN

Theoretische Untersuchung eines räumlichen Konkurrenzmodells zur regionalen Verkehrsverteilung

Mit Süddeutschland als Anwendungsbeispiel

REGENSBURGER GEOGRAPHISCHE SCHRIFTEN

Herausgegeben von
KARL HERMES, HEINZ KLUG, JOHANNES OBST

Schriftleitung
Kurt E. Klein

Heft 15

1980

Institut für Geographie an der Universität Regensburg
Selbstverlag

KURT E. KLEIN

**Theoretische Untersuchung eines räumlichen
Konkurrenzmodells zur regionalen Verkehrsverteilung**

Mit Süddeutschland als Anwendungsbeispiel

1980

Institut für Geographie an der Universität Regensburg
Selbstverlag

Der vorliegende Band ist eine Dissertation der Universität Regensburg, Institut für Geographie

ISBN 3-88246-036-9

Alle Rechte vorbehalten

Druck: Druckerei Ernst Groß, 8405 Donaustauf

VORWORT

Wenn sich die Weiterentwicklung von Wissenschaft im Wechselspiel von empirischer Arbeit und theoretischer Durchdringung vollzieht (P. Schöller), dann sollte nach den vielen vorliegenden Studien zur Verkehrsverteilung die Theorie wieder an der Reihe sein. Wilson lieferte mit seiner Einbettung des Gravitationsmodells in das Entropie-Maximierungsmodell den Ansatz, die implizit in seiner Hypothese angenommene Raumstruktur des Verkehrs näher zu beleuchten. Ist aber diese Raumstruktur, wie sie sich in den Modellparametern niederschlägt, abhängig vom Untersuchungsgebiet oder raum-invariant? Eine Frage, die gerade während der Bearbeitung des Themas heftig und kontrovers unter Geographen diskutiert wurde. Letztendlich: läßt sich die Verkehrsverteilung mit Hilfe von 'Raumvariablen' herleiten?

In den Lehrveranstaltungen von Herrn Professor Obst, die ich besuchte, wurde immer wieder sein Beharren auf dem Bezug zum Raum deutlich; desgleichen die Beachtung theoretischer Ansätze unter gleichzeitiger kritischer Überprüfung an der Realität. Für die sich daraus ergebenden Anregungen, die in Gesprächen und Diskussionen vertieft werden konnten, sowie für seine Betreuung und Förderung bin ich ihm sehr zu Dank verpflichtet. Ebenso fühle ich mich Herrn Professor Klug sehr verbunden für die Übernahme des Koreferates und für seine bereitwillig und umfassend gewährte Unterstützung.

Die Entwürfe für die Abbildungen stammen vom Verfasser (Abb.40: J. Obst), die Kartographie führte Herr E. Ardelean sorgfältig und umsichtig aus. Für das große Engagement bei Anfertigung der Reinschrift bedanke ich mich recht herzlich bei Fräulein M. Reif.

Alle Berechnungen wurden selbst durchgeführt. Falls hierzu Programme erforderlich waren, wurden sie in ASSEMBLER und vor allem FORTRAN vom Verfasser geschrieben und auf der SIEMENS 4004 der Universität Regensburg gerechnet. Das Programmpaket SYMAP fand bei der Erstellung von Zeichenvorlagen für die Abb. 31, 32, 68, 101 - 105 (kont.), 125 - 129 Verwendung.

Literaturhinweise werden unter Angabe der lfd. Nummer des im Literaturverzeichnis aufgeführten Titels und ggf. des Autorennamens mit [] aus dem Text herausgehoben. Durch [* , M lfd.Nr.] sind Verweise auf den mathematischen Anhang gekennzeichnet, wobei sich die laufende Nummer auf die Zählung im Anhang bezieht. Sätze und Beweise des Anhangs stammen - wenn nicht anders angegeben - vom Verfasser.

Tabellen des Tabellenanhangs werden durch Angabe der Tabellennummer in Verbindung mit TA (Abk. für Tabellenanhang) zitiert.

Das Faltblatt vor der dritten Umschlagseite zeigt den Aufbau der vorliegenden Untersuchung, die zur Modellrechnung herangezogenen Punktmuster und die für das Anwendungsbeispiel ausgewählten Verkehrsbezirke in Süddeutschland.

Das Manuskript wurde im Sommer 1977 abgeschlossen und im Sommer 1978 als Dissertation vom Fachbereich Geschichte-Gesellschafts-Geographie der Universität Regensburg angenommen. Für die Aufnahme in die Regensburger Geographische Schriften bedanke ich mich bei den Herausgebern, den Herren Professoren K. Hermes, H. Klug und J. Obst.

Regensburg, Juni 1980

Kurt E. Klein

	Seite
Vorwort	v
Inhaltsverzeichnis	vii
Verzeichnis der Abbildungen	xi
Verzeichnis der Tabellen im Text	xxi
Verzeichnis der Abkürzungen	xxiv
Inhaltsverzeichnis des Mathematischen Anhangs	xxx
Verzeichnis der Tabellen des Tabellenanhangs	xxxii
1. GRUNDFRAGEN UND ZIELE	1
1.1 Verkehrsverteilungsuntersuchungen innerhalb der Verkehrsgeographie	1
1.2 Verwendeter Modellbegriff	3
1.3 Wilson'sche Ableitung des erweiterten Gravitationsmodells aus räumlicher Sicht	7
1.3.1 Ausgangssituation, Aufgabenstellung	7
1.3.2 Modellvoraussetzung und Modellhypothese	10
1.3.3 Erweitertes Gravitationsmodell	17
1.4 Modell und Raum	26
1.5 Ziele und Aufbau der Arbeit	31
Kernliteratur Kapitel 1	37
2. AUFSTELLUNG UND ERSTE UNTERSUCHUNG DES RÄUMLICHEN KONKURRENZMODELLS	38
2.1 Rauminvariante Bezugsbasis für die Modellergebnisse	40
2.2 Einbezug des Raumes in die Betrachtung	45
2.2.1 Relative Lage	46
2.2.2 Entropiemaximierung und Entfernung	52
2.2.3 Ordinale Entfernungsmatrix	55
2.3 Effekt der räumlichen Konkurrenz	60
2.4 Zwei extreme Punktmuster	67
2.5 Form der Ausgleichsfaktoren A, B	77

2.6	Untersuchung des räumlichen Konkurrenzmodells auf Stufe 2	81
2.6.1	Räumliche Verteilung der Ausgleichsfaktoren	81
2.6.2	Einflüsse der Ausgleichsfaktoren auf die regionale Verkehrsverteilung	85
2.6.3	Untersuchung der Präferenzen	94
2.7	Erweiterung der Folgerungen aus der Modellhypothese	98
2.8	Bemerkungen zum Übergang von ordinaler zu realer Entfernungsmatrix	101
	Kernliteratur Kapitel 2	106
3.	UNTERSUCHUNGSRAUM, AUSWAHL DES TEILVERKEHRS SOWIE ANWENDUNG DES KONKURRENZMODELLS AUF STUFE 2	107
3.1	Untersuchungsraum	108
3.2	Darstellung des Teilverkehrs	114
3.2.1	Warum Teilverkehr	114
3.2.2	Auswahl des Teilverkehrs	116
3.2.3	Verteilung der potentiellen Quellen	124
3.2.4	Versuch der Erklärung des regionalen Versandaufkommens	131
3.2.5	Versand- und Empfangsaufkommen; Aufteilung auf Verkehrsträger	134
3.3	Darstellung der beobachteten Verkehrsstrommatrix anhand der Gewichtsverteilung, der Zielauswahl und der durchschnittlichen Transportweite	142
3.3.1	Beschreibung der Gewichtsverteilung	142
3.3.2	Zielauswahl	144
3.3.3	Versuch, mit Hilfe eines einfachen Wahrscheinlichkeitstheoretischen Modells, die in 3.3.2 dargestellte Zielauswahl - ohne Beachtung der zugehörigen Gewichtsverteilung - zu approximieren	146
3.3.4	Untersuchung der durchschnittlichen Transportweite	153
3.4	Anwendung des räumlichen Konkurrenzmodells	159
3.4.1	Nachprüfen der Modellvoraussetzungen auf Stufe 2	160
3.4.2	Modellanwendung unter Benutzung von Punktmuster Hexagonal	161
3.4.3	Übergang von Punktmuster Hexagonal zu Süd-VB	162
	Kernliteratur Kapitel 3	176

4.	FORTFÜHRUNG DER THEORETISCHEN UNTERSUCHUNG DES RÄUMLICHEN KONKURRENZMODELLS SOWIE ANSÄTZE ZU SEINER ERWEITERUNG	177
4.1	Einführende Überlegungen zu den Stufen 3 und 4	177
4.2	Untersuchung des Konkurrenzmodells bei Variation der Aufkommensmengen (Stufe 3)	186
4.2.1	Vorüberlegungen	186
4.2.2	Veränderung der räumlichen Konkurrenz auf Stufe 3 gegenüber Stufe 2	193
4.2.3	Beeinflussung der regionalen Verkehrsverteilung und der Entropie	202
4.3	Erweiterung des Konkurrenzmodells durch Regionalisierung der Entfernungsfunktion	216
4.3.1	Ein Beispiel	216
4.3.2	Erweitertes räumliches Konkurrenzmodell	224
4.3.3	Ausgewählte lokale Verkehrsverteilungen auf Stufe 4 der Modellentwicklung	226
4.3.3.1	Beeinflussung der räumlichen Verkehrsverteilung	227
4.3.3.2	"Additivität" der Einzelverteilungen?	236
4.3.3.3	Überlegungen zur Approximation der 'Reale-Welt-Situationen' auf Stufe 5	239
4.3.4	Übertragbarkeit der auf Stufe 5 gewonnenen Modell-ergebnisse	242
4.4	Rückblick auf die theoretischen Ansätze	246
	Kernliteratur Kapitel 4	251
5.	DER WAGENLADUNGSVERKEHR MIT ELEKTROTECHNISCHEN GÜTERN INNERHALB SÜDDEUTSCHLANDS (1972) IN DER MODELL-APPROXIMATION	252
5.1	Zielsetzung der Modellanwendung	252
5.2	Darstellung der Originalmatrix unter ausgewählten Gesichtspunkten	255
5.2.1	Hauptverkehrsbeziehungen	256
5.2.2	Wichtige Präferenzrelationen und Teilsysteme	262
5.2.3	Ausgewählte Verteilungstypen	272
5.3	Modellapproximation auf den Stufen 3 und 5	296
5.3.1	Approximation unter Punktmuster Hexagonal	296
5.3.2	Approximation unter Punktmuster Süd-VB	316

	Seite
5.4	Nochmalige Modellerweiterung und Zusammenschau der Ergebnisse der Modellapproximation 324
5.4.1	Modellerweiterung über Stufe 5 hinaus 324
5.4.2	Ausgewählte Aspekte der Anwendung der Modellerweiterung 327
5.4.3	Verteilungsmuster in der Approximation 333
5.4.4	Approximation der Repräsentanten ausgewählter Verteilungstypen 339
5.4.5	Approximation ausgewählter Teilsysteme 351
5.5	Ergebnis der Modellanwendung aus geographischer Sicht 353
	Kernliteratur Kapitel 5 359
6.	ZUSAMMENFASSUNG 360
6.1	Wissenschaftstheoretischer Ansatz 360
6.2	Angewandte Methoden 361
6.3	Ergebnisse der Modelluntersuchung 363
6.4	Modellanwendung auf realen Teilverkehr 367
Summary	370
Literaturverzeichnis	373
Mathematischer Anhang	391
Tabellenanhang	432

VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN

Nr.	Titel	Seite
1	Abhängigkeit zwischen Ausgleichsfaktoren und Exponent der Entfernungsfunktion	19
2	Verknüpfung der einzelnen Teilziele	32
3	Modellentwicklung in fünf Stufen der sukzessiven Strukturierung des Raumes	34
4	Anwendungsbereiche des räumlichen Konkurrenzmodells	38
5	Simuliertes Punktmuster von Johnston	46
6	Durchschnitt und Standardabweichung der Versandentfernung bei Punktmuster 'Johnston'	47
7	Punktmuster 'Johnston': Versandentfernungsverteilung in Abhängigkeit von relativer Lage	48
8	Punktmuster 'Johnston': Thiessen-Polygone	51
9	Punktmuster 'Johnston': Verteilung der Nachbarschaften n-ter Ordnung in Abhängigkeit von relativer Lage	52
10	Punktmuster 'Johnston': Stützstellenverteilung der Entfernungsfunktion in Abhängigkeit von relativer Lage	54
11	Punktmuster 'Johnston': Übergang von realer zu ordinaler Entfernung für Quelle 16	57
12	Punktmuster 'Johnston'; ordinale Entfernungen Stufe 2; einfaches Gravitationsmodell: Fehlschätzung der Empfangsmengen	59
13	Punktmuster 'Johnston'; verschiedene Exponenten: Stützstellendichte der Entfernungsfunktion in Abhängigkeit von relativer Lage	62
14	Punktmuster 'Süd-VB': Thiessen-Polygone	64
15	Punktmuster 'Süd-VB'; ordinale Entfernungen Stufe 2; einfaches Gravitationsmodell: Fehlschätzungen der Empfangsmengen	64
16	Ordinale Versandentfernungsverteilung in Abhängigkeit von Punktmuster und relativer Lage	65
17	Exponentielle Transformation des Hexagonalmusters	68
18	Umordnung der statistischen Parameter der (realen) Versandentfernungsverteilung bei Übergang von 'Hexagonal' zu 'Verzerrung'	70
19	Reihung der Punktmuster nach Variation der Punktdichte	70
20	Ideale Punktmuster: Gruppierung der Punkte nach relativer Lage	72
21	Ideale Punktmuster: Versandentfernungsverteilung in Abhängigkeit von relativer Lage für reale und ordinale Entfernungen	73
		xi

Nr.	Titel	Seite
22	Punktmuster 'Hexagonal'; ordinale Entfernungen Stufe 2; einfaches Gravitationsmodell: Fehlschätzungen der Empfangsmengen (räumliche Konkurrenz)	75
23	Punktmuster 'Verzerrung'; ordinale Entfernungen Stufe 2; einfaches Gravitationsmodell: Fehlschätzung der Empfangsmengen (räumliche Konkurrenz)	75
24	Punktmuster 'Hexagonal'; ordinale Entfernungen Stufe 2: Verteilung der B-Werte	82
25	Punktmuster 'Verzerrung'; ordinale Entfernungen Stufe 2: Verteilung der B-Werte	82
26	Ideale Punktmuster; ordinale Entfernungen Stufe 2: Veränderung von räumlicher Konkurrenz und Ausgleichsfaktor B im Profil Rand-Zentrum-Rand	84
27	Ideale Punktmuster; ordinale Entfernungen Stufe 2: Änderung der Versandverteilung bei Übergang vom einfachen Gravitationsmodell zum räumlichen Konkurrenzmodell in Abhängigkeit von der relativen Lage	86
28	Punktmuster 'Hexagonal'; ordinale Entfernungen Stufe 2: Relative Entropie der Versandverteilung der Quellen	88
29	Punktmuster 'Verzerrung'; ordinale Entfernungen Stufe 2: Relative Entropie der Versandverteilung der Quellen unter einfachem Gravitationsmodell und räumlichem Konkurrenzmodell	88
30	Ideale Punktmuster; ordinale Entfernungen Stufe 2: Räumliche Verteilung der Versandmengen der Quellen 5,8,13 unter Konkurrenzmodell mit Angabe der prozentualen Veränderung sowie der Umordnung der Zielreihenfolge gegenüber dem einfachen Gravitationsmodell	91
31	Punktmuster 'Hexagonal'; ordinale Entfernungen Stufe 2: Präferenzverteilung ausgewählter Quellen	95
32	Punktmuster 'Verzerrung'; ordinale Entfernungen Stufe 2: Präferenzverteilung ausgewählter Quellen	95
33	Punktmuster 'Hexagonal'; ordinale Entfernungen Stufe 2: Verteilung der Präferenzen über 0,8	96
34	Punktmuster 'Verzerrung'; ordinale Entfernungen Stufe 2: Verteilung der Präferenzen über 0,8	97
35	Punktmuster 'Hexagonal'; ordinale Entfernungen Stufe 2: Anteil der Versandpräferenzen über 0,8 an dem Gesamtpräferenzenversand, differenziert nach relativer Lage der Senken und den Verhältnissen des einfachen Gravitationsmodells gegenübergestellt	99
36	Punktmuster 'Verzerrung'; ordinale Entfernungen Stufe 2: Anteil der Versandpräferenzen über 0,8 an dem Gesamtpräferenzenversand, differenziert nach relativer Lage der Senken und den Verhältnissen des einfachen Gravitationsmodells gegenübergestellt	99

Nr.	Titel	Seite
37	Histogramme der den Punktmustern entsprechenden realen Entfernungsmatrizen	102
38	Ideale Punktmuster; Stufe 2: Vergleich der Profile durch die B-Wert-Verteilung für ordinale und reale Entfernungen	104
39	Ideale Punktmuster; Stufe 2: Vergleich der Profile durch die Versandentropie-Verteilung für ordinale und reale Entfernungen	104
40	Einteilung der BRD in Verkehrsbezirke durch die amtliche Statistik	109
41	Beste exponentielle Transformation des Punktmusters 'Hexagonal' zur Annäherung des Punktmusters 'Süd-VB'	112
42	Zuordnung von Verkehrsschwerpunkten 'Süd-VB' zu Punkten des Hexagonalmusters	113
43	Verkehr mit elektrotechnischen Erzeugnissen innerhalb Süddeutschlands: Entwicklung der durchschnittlichen Transportweite im Zeitraum von 1969 - 1973 für Quellen ähnlicher Produktionsstruktur	123
44	Elektrotechnische Industrie in Süddeutschland um 1970: Durchschnittliche Betriebsdichte je VB	125
45	Elektrotechnische Industrie in Süddeutschland um 1970: Prozentanteil der Verkehrsbezirke an Betrieben der Elektroindustrie in Süddeutschland	125
46	Elektrotechnische Industrie in Süddeutschland um 1970: Beschäftigte je Betrieb im Durchschnitt auf VB-Basis	126
47	Elektrotechnische Industrie in Süddeutschland um 1970: Beschäftigte nach Kreisen; Beurteilung der Streuung der Beschäftigten innerhalb der VB durch Angabe der Standardabweichungsellipse	129
48	Verkehrsaufkommen und Produktionsstruktur: Standardisierte Residuen der Regression der Aufkommensschätzung mit Hilfe der Produktivitätsfaktoren	133
49	Verkehr mit elektrotechnischen Erzeugnissen innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Räumliche Streuung der Aufkommensmengen um das gewichtete Medianzentrum bei Punktmuster 'Hexagonal', auf 'Süd-VB' umgeordnet	138
50	Verkehr mit elektrotechnischen Erzeugnissen innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Räumliche Streuung der Aufkommensmengen um das gewichtete Medianzentrum bei Punktmuster 'Süd-VB'	139
51	Verkehr mit elektrotechnischen Erzeugnissen innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Γ -Funktionstypen der nach absteigendem Gewicht geordneten Versandverteilung	143

Nr.	Titel	Seite
52	Verkehr mit elektrotechnischen Erzeugnissen innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Die gewichtsmäßig fünf bedeutendsten Versandrelationen ohne die VB 7, 14,22 als Ziele	145
53	Verkehr mit elektrotechnischen Erzeugnissen innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Signifikanzniveaus beim Test der 1.Hypothese zur Erklärung der Zielauswahl	149
54	Verkehr mit elektrotechnischen Erzeugnissen innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Signifikanzniveaus beim Test der 4.Hypothese zur Erklärung der Zielauswahl	149
55	Verkehr mit elektrotechnischen Erzeugnissen innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Durchschnittliche Versand-/Empfangs-Transportweite der Stufe 1 als Vielfaches der realen durchschnittlichen Versand-/Empfangs-Transportweite	158
56	Approximation der Originalmatrix auf Stufe 2; Hexagonal, auf Süd-VB umgeordnet: Abhängigkeit der Ausgleichsfaktoren A, B von statistischen Parametern der Versand-Entfernungsverteilung	163
57	Approximation der Originalmatrix auf Stufe 2; 'Süd-VB': Abhängigkeit der Ausgleichsfaktoren A, B von statistischen Parametern der Versand-Entfernungsverteilung	163
58	Auf Stufe 2 überführte Verkehrsstrommatrix: Versandpräferenzen über 1,0 und Entropie der Versandpräferenzverteilung	165
59	Approximation der vorgegebenen VSM auf Stufe 2; Punktmuster 'Süd-VB': Vergleich der räumlichen Verteilungen von realer und modellhaft berechneter relativer Versandentropie	167
60	Approximation der vorgegebenen VSM auf Stufe 2: (Vergleichbare) Veränderung der relativen Versandentropie bei Übergang von 'Hexagonal' zu 'Süd-VB'	167
61	Approximation der vorgegebenen VSM auf Stufe 2: Lokale Bestimmtheitsmaße der Modellapproximation des Versands bei Übergang von 'Hexagonal' zu 'Süd-VB'	170
62	Approximation der vorgegebenen VSM auf Stufe 2: Lokale Bestimmtheitsmaße der Modellapproximation des Empfangs bei Übergang von 'Hexagonal' zu 'Süd-VB'	170
63	Teilsysteme I, II; 'Hexagonal'; 'Süd-VB': Verteilung der B-Werte bei Approximation der vorgegebenen VSM auf Stufe 2	172
64	Beispiele möglicher Versandstrategien	182/183
65	Herleitung und Betrachtung der räumlichen Kovarianz von Aufkommen und relativer Lage	188/191

Nr.	Titel	Seite
66	Grundmuster der für die Modellrechnungen ausgewählten räumlichen Aufkommensvariationen am Beispiel von 'Hexagonal'	192
67	Modellrechnungen 31, 32 Stufe 3; 'Hexagonal': Komponenten der Kovarianz für die Einzelquellen 5,8,12 - ohne Vorzeichenänderung	195
68	Modellrechnungen 43,10,42 Stufe 3; ideale Punktmuster: Präferenzverteilung der Quellen 5,8,12	204/205
69	Modellrechnungen 43,10,42 Stufe 3; ideale Punktmuster: Profile durch die Präferenzverteilung der Quellen 5,8,12 (Rand-Zentrum-Rand)	206
70	Modellrechnungen auf Stufe 3; Punktmuster 'Verzerrung': Reihung der Profile durch die Verteilung der Entropie der Versandpräferenzen nach Modellrechnungen mit zunehmendem Versandkonkurrenz-Rand-Zentrum-Gegensatz	209
71	Modellrechnungen auf Stufe 3; Punktmuster 'Verzerrung': Relative Veränderung der Versandentropie gegenüber Stufe 2, falls die Quelle 5 ihr Versandaufkommen erhöht, alle übrigen Quellen weiterhin gleich viel versenden, wobei der Gesamtversand im System jenem auf Stufe 2 entspricht	212
72	Modellrechnungen auf Stufe 3 'Hex.'/'Hex.regelmäßig': Reihung der Profile durch die Verteilung der Entropie der Versandpräferenzen, nach Modellrechnungen mit zunehmendem Versandkonkurrenz-Rand-Zentrum-Gegensatz	212
73	Beschäftigte in der Elektrotechnischen Industrie 1970 im VB 16 Landshut nach Kreisen	217
74.1	Auslandsvertretungen eines in Landshut ansässigen Herstellers von Spezialkondensatoren	219
74.2	Inlandsvertretungen zweier im VB 16 Landshut ansässigen elektrotechnischen Betriebe	220
75	Relative Versandverteilung (Angaben in % des jeweiligen Gesamtversands) innerhalb Süddeutschlands von Betrieben der Elektrotechnischen Industrie mit Sitz in VB 16 Landshut - eigene Erhebungen -	221
76	Entfernungsfunktion der Einzel- und der zusammengesetzten Versandverteilung von Einzelbetrieben des VB 16 Landshut	223
77	Modellrechnungen Stufe 4; 'Hexagonal': Veränderung der B-Werte gegenüber Stufe 2, falls Quelle 5 die Verteilungsstrategie $k = 17$ wählt	229
78	Modellrechnungen Stufe 4; 'Hexagonal': Veränderung der Prozentanteile an Präferenzen der Quellen 1,5,20 gegenüber Stufe 2, falls Quelle 5 die Versandstrategie $k = 17$ wählt	229

Nr.	Titel	Seite
79	Modellrechnungen Stufe 4; 'Hexagonal'; 'Hexagonal regelmäßig': Räumliche Verteilung der Exponenten der Entfernungsfunktion der Quellen 1 bis 15, falls diese jeweils als einzige Quelle die Verteilungsstrategie $k=5,11,17$ wählen und die übrigen Quellen hinsichtlich der Entfernungsfunktion auf Stufe 2 verbleiben	232
80	Modellrechnung Stufe 4; 'Hexagonal': Veränderung der relativen B-Werte, falls die Quelle 5 die der Stufe 2 bzw. den Strategien $k=5,11,17$ entsprechende Entfernungsfunktion annimmt	234
81	Modellrechnung Stufe 4; 'Hexagonal': Veränderungen der Präferenzanteile (%) der Senken, falls Quelle 5 nacheinander Stufe 2, $k=5,11,17$ durchläuft	234
82	Modellrechnung Stufe 4; 'Hexagonal': Abweichung der Versandverteilung von $k=5$ (in % des Gesamtversands), wenn die für $k=5$ als Einzelstrategie getrennt ermittelten Exponenten herangezogen werden, um $k=5$ im Gesamtraum zu erzeugen	237
83	Modellrechnung Stufe 4; 'Hexagonal': Differenz zwischen dem für $k=5$ im Gesamtraum und dem für $k=5$ der Einzelsenke ermittelten Exponenten der Entfernungsfunktion	237
84	Modellrechnung Stufe 4; ideale Punktmuster: Gegenüberstellung der bei Einzel- bzw. Simultan-Berechnung gewonnenen Exponenten der Entfernungsfunktion	239
85	Prozentanteil der zu schätzenden Modellparameter an der Anzahl (n^2) der zu schätzenden Verkehrsrelationen für die Modellstufen 3,5 und Erweiterung im Anwendungsfall	242
86	Verkehr mit elektrotechnischen Erzeugnissen innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Absolute und standardisierte Versand- und Empfangsmengen	257
87	Verkehr mit elektrotechnischen Erzeugnissen innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Relationen mit mehr als 70,2 t Verkehrsaufkommen	257
88	Verkehr mit elektrotechnischen Erzeugnissen innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Paarige Relationen mit mehr als 70,2 t Verkehrsaufkommen	259
89	Verkehr mit elektrotechnischen Erzeugnissen innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Relationen mit weniger als 0,1 t Verkehrsaufkommen	259
90	Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Standardisierte Residuen der linearen Regression zur Abhängigkeit von relativer Versandentropie und Versandaufkommen	262

Nr.	Titel	Seite
91	Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Versandpräferenzen über 1,2	264
92	Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Paarige Relationen mit Präferenzen über 1,2	264
93	Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Aufgefundene Teilsysteme mit 2 bis 5 einbezogenen VB	269
94	Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Ausgewählte Typen der Gamma-Funktion bei Approximation der gewichtsmäßigen Versandpräferenzverteilung	272
95	Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Zusammenhang zwischen relativer Entropie und Γ -Funktionstyp der Versandpräferenzverteilung	274
96	Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Ordinale Medianentfernung der Versandpräferenzverteilungen unter Zugrundelegung von Punktmuster 'Süd-VB'	276
97	Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Ordinale Medianentfernung der Versandpräferenzverteilungen unter Zugrundelegung von Punktmuster 'Hexagonal'	276
98	Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Kumulierte Kurven der ordinalen Quartil-Entfernungsverteilungen der Versandpräferenzen unter Zugrundelegung von Punktmuster 'Süd-VB'	278
99	Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Charakterisierung der Versandpräferenzverteilungen mit Hilfe der Parameter F_r , d_r der S.A.E.	281
100	Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Charakterisierung der Versandpräferenzverteilungen mit Hilfe der Parameter F_r , d_r , ϵ_r der S.A.E.	281
101	Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Versandpräferenzverteilung der Quelle 8 Ulm; diskret und kontinuierlich	287
102	Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Versandpräferenzverteilung der Quelle 11 Aschaffenburg; diskret und kontinuierlich	289

Nr.	Titel	Seite
103	Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Versandpräferenzverteilung der Quelle 16 Landshut; diskret und kontinuierlich	290
104	Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Versandpräferenzverteilung der Quelle 1 Mannheim; diskret und kontinuierlich	291
105	Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Versandpräferenzverteilung der Quelle 24 Rosenheim; diskret und kontinuierlich	293
106	Modellapproximation Stufe 3; 'Hexagonal': Absolutes Bestimmtheitsmaß und standardisierte Veränderung des Bestimmtheitsmaßes gegenüber Stufe 1	300
107	Modellapproximation Stufe 3; 'Hexagonal': Mit einem Fehler unter 10% approximierten Versandrelationen; wegen Darstellbarkeit ist für die Zeichnung 'Süd-VB' verwandt	302
108	Modellapproximation Stufe 3; 'Hexagonal': Mit dem auf Stufe 3 ermittelten Exponenten, aber mit den auf Stufe 2 angenommenen Aufkommensmengen berechneten B-Werte als Vergleichsbasis für die auf Stufe 3 der Modellapproximation erhaltenen Werte	304
109	Modellapproximation Stufe 5; 'Hexagonal': Vergleich der Reihungen der VB nach dem auf Stufe 5 ermittelten Versandexponenten mit jenen nach dem vollständigen bzw. quadratischen Trendoberflächenansatz zur Beschreibung der räumlichen Widerstandsfunktion	309
110	Modellapproximation Stufe 5; 'Hexagonal': Absolutes Bestimmtheitsmaß und standardisierte Veränderungen des Bestimmtheitsmaßes gegenüber Stufe 1	312
111	Modellapproximation Stufe 5; 'Hexagonal': Mit einem Fehler unter 10% approximierten Versandrelationen; wegen Darstellbarkeit Verwendung von 'Süd-VB'	313
112	Modellapproximation Stufe 5; 'Hexagonal': B-Werte mit Veränderung gegenüber der Modellapproximation auf Stufe 3 in % von Stufe 3	315
113	Modellapproximation Stufe 3; 'Süd-VB': Absolutes Bestimmtheitsmaß und standardisierte Veränderungen des Bestimmtheitsmaßes gegenüber Stufe 1	317
114	Modellapproximation Stufe 3; 'Süd-VB': Mit einem Fehler unter 10% approximierten Versandrelationen	317

Nr.	Titel	Seite
115	Modellapproximation Stufe 5; 'Süd-VB': Vergleich der Reihungen der VB nach dem auf Stufe 5 ermittelten Versandexponent mit jenen nach dem vollständigen bzw. quadratischen Trendoberflächenansatz zur Beschreibung der räumlichen Widerstandsfunktion	320
116	Modellapproximation Stufe 5; 'Süd-VB': Mit einem Fehler unter 10% approximierte Versandrelationen	323
117	Modellapproximation Stufe 5; 'Süd-VB': B-Werte mit Veränderung gegenüber der Modellapproximation auf Stufe 3 in % von Stufe 3	323
118	Modellapproximation Erweiterung Stufe 5; 'Süd-VB' Versand-Exponent der Entfernungsfunktion, absolut und standardisiert nach Gruppen relativer Lage	328
119	Modellapproximation Erweiterung Stufe 5; 'Süd-VB' Empfangs-Exponent der Entfernungsfunktion, absolut und standardisiert nach Gruppen relativer Lage	328
120	Modellapproximation alle Stufen; 'Süd-VB': Relationen mit den 5% höchsten und 5% niedrigsten Werten der Entfernungsfunktion	330
121	Modellapproximation Erweiterung Stufe 5; 'Süd-VB': Absolutes Bestimmtheitsmaß und standardisierte Veränderung des Bestimmtheitsmaßes gegenüber Stufe 1	331
122	Modellapproximation Erweiterung Stufe 5; 'Süd-VB': Mit einem Fehler unter 10% approximierte Versandrelationen	331
123	Modellapproximation Stufen 3, 5; beide Punktmuster: Veränderung des relativen Bestimmtheitsmaßes bei Übergang von 'Hexagonal' zu 'Süd-VB' (Wert von Süd-VB - Wert von Hex) nach Stufen getrennt	334
124	Modellapproximation alle Stufen; beide Punktmuster: Vergleich des Zusammenhangs von ordinaler Median-Entfernung und zugehöriger Interquartil-Range für Original und Modell, nach Punktmustern getrennt	337
125	Modellapproximation alle Stufen; 'Süd-VB': Präferenzverteilung (räumliche Widerstandsfunktion) der <u>Quelle 8</u> auf den verschiedenen Approximationsstufen und Bezug der Originalpräferenzen auf jene unter Erweiterung	343
126	Modellapproximation alle Stufen; 'Süd-VB': Präferenzverteilung (räumliche Widerstandsfunktion) der <u>Quelle 11</u> auf den verschiedenen Approximationsstufen und Bezug der Originalpräferenzen auf jene unter Erweiterung	345

Nr.	Titel	Seite
127	Modellapproximation alle Stufen; 'Süd-VB': Präferenzverteilung (räumliche Widerstands- funktion) der <u>Quelle 16</u> auf den verschiedenen Approximationsstufen und Bezug der Original- präferenzen auf jene unter Erweiterung	347
128	Modellapproximation alle Stufen; 'Süd-VB': Präferenzverteilung (räumliche Widerstands- funktion) der <u>Quelle 1</u> auf den verschiedenen Approximationsstufen und Bezug der Original- präferenzen auf jene unter Erweiterung	348
129	Modellapproximation alle Stufen; 'Süd-VB': Präferenzverteilung (räumliche Widerstands- funktion) der <u>Quelle 24</u> auf den verschiedenen Approximationsstufen und Bezug der Original- präferenzen auf jene unter Erweiterung	349
130	Modellapproximation alle Stufen; 'Süd-VB': Vergleich der Präferenzrelationen über 1,0 innerhalb der Teilsysteme I, II für Original und Modell	352
131	Struktur und Funktion: Gibt es einen Zusammenhang zwischen Produktionsstruktur der in einem Ver- kehrsbezirk ansässigen Elektroindustrie und der zugehörigen Verkehrsverteilung (Präferenzen), charakterisiert durch die Relativparameter F_r , ϵ_r , d_r der S.A.E.?	358

VERZEICHNIS DER TABELLEN IM TEXT

Nr.		Seite
1	Makrozustände, die zum Beispiel in 1.3.2 gehören, zusammen mit statistischen Parametern	12
2	Punktmuster 'Johnston'; arithmetisches Mittel und Variationskoeffizient der Versand-Entfernungsverteilung	47
3	Vergleich der Versandkostenkonkurrenz bei verschiedenen Exponenten für ausgewählte Senken	62
4	Statistische Kenngrößen der räumlichen Versandkostenkonkurrenz bei den Punktmustern 'Johnston' und 'Süd-VB'	63
5	Nächster-Nachbar-Index für die verschiedenen Punktmuster	67
6	Punktdichtevariationen, beurteilt an der Belegung von Entfernungsklassen für die vier Punktmuster bei realer und ordinaler Entfernungsmessung	71
7	Statistische Kenngrößen der räumlichen Versandkostenkonkurrenz bei allen Punktmustern	76
8	Statistische Kenngrößen der Werte des Ausgleichsfaktors B bei allen Punktmustern	83
9	Statistische Kenngrößen der relativen Entropie der Einzelversandverteilungen - alle Punktmuster	90
10	Parameter der Standardabweichungsellipse für die Punktmuster 'Hexagonal' und 'Süd-VB'	111
11	Charakterisierung der räumlichen Verteilung der Versand- und Empfangsmengen der VB mit Hilfe der Parameter der S.A.E. - Punktmuster 'Hexagonal' und 'Süd-VB'	137
12	Verteilung der Versand- und Empfangsmengen im Vergleich zur Gleichverteilung (Tab. 10), untereinander und zwischen den Punktmustern anhand der Parameter der S.A.E.	137
13	Anteil des Versands der ausgewählten Quellen, der im Teilsystem I verbleibt (in %) - beide Punktmuster -	173
14	Dem Teilsystem entsprechender Ausschnitt aus der ordinalen Entfernungsmatrix des Gesamtsystems	174
15	Ausgliederung der Anteile räumlicher Zielgruppen aus dem modellhaft berechneten Verkehr der Quellen des Teilsystems II - beide Punktmuster -	175
16	Übersicht über Aufkommensvariationen der Modellrechnungen	179
17	Übersicht der räumlichen Differenzierung der Exponenten für die Modellrechnungen auf Stufe 4	185

Nr.		Seite
18	Übersicht der Kombination von Aufkommensvariation und räumlicher Differenzierung des Exponenten für Modellrechnungen auf Stufe 5	185
19	Gruppierung von Modellrechnungen auf Stufe 3 mit jeweils gleichen Empfangsmengen-Variationen	194
20	Statistische Kenndaten der Verteilung der Ausgleichsfaktoren A der Empfangskonkurrenz an den Quellen für die Modellrechnungen auf Stufe 3 - beide Punktmuster -	197
21	Gruppierung von Modellrechnungen der Stufe 3 mit jeweils gleichen Versandmengen-Variationen	198
22	Statistische Kenndaten der Verteilung der Ausgleichsfaktoren B der Versandkonkurrenz an den Senken für die Modellrechnungen auf Stufe 3 - beide Punktmuster -	199
23	Räumliche Konkurrenz in Abhängigkeit von Aufkommensvariationen	201
24	Räumliche Verteilung der Versandpräferenzen ausgewählter Quellen unter Modellrechnungen der Stufe 3 - Punktmuster Verzerrung -; beurteilt mit Hilfe der Parameter der Standard-Abweichungs-Ellipse	207
25	Entropieveränderung bei lokaler Aufkommensvariation auf Stufe 3 in Abhängigkeit von der relativen Lage - Punktmuster Verzerrung -	211
26	Entropieveränderungen zweier Quellen unter Modellrechnungen der Stufe 3 im Vergleich der Punktmuster	213
27	Ausgewählte Teilverkehre zur Überprüfung der Approximation der den auf Stufe 3 durchgeführten Modellrechnungen zugeordneten 'Reale-Welt-Situationen' - beide Punktmuster -	214
28	Reihung der in Tabelle 27 dargestellten Teilverkehre nach Modellrechnungen	215
29	Approximation der den Modellrechnungen 41 und 44 zugeordneten Teilverkehren auf Stufe 5 - beide Punktmuster -	241
30	Statistische Parameter der regionalisierten Exponenten für die durch $k=5,11$ umschriebene Verkehrsverteilung im Gesamtsystem; Exponent der Modellapproximation auf Stufe 3 - beide Punktmuster -	245
31	Kontingenztafeln der betrachteten Teilverkehre auf Länderbasis	261
32	Kontingenztafeln der betrachteten Präferenz-Teilverkehre auf Länderbasis	265
33	Häufigkeit des Auftretens der VB in den ersten vier Präferenzrelationen (einschließlich der Quelle)	268
34	Ausschnitte aus der Präferenzmatrix der vorgegebenen VSM, die den Teilsystemen I und II entsprechen	271

Nr.		Seite
35	Untersuchung der in Abbildung 96 vorgenommenen Einteilung der Median-Entfernungen auf Länderebene	277
36	Median-Entfernung und relative Lage in Abbildung 97 im Vergleich mit der Gleichverteilung	277
37	Einige statistische Kennzahlen der Versandpräferenzverteilung ausgewählter VB	285
38	Statistische Kennzahlen zur räumlichen Versandpräferenzverteilung der ausgewählten VB	286
39	Modellapproximation der vorgegebenen VSM mit Stufe 3 des Konkurrenzmodells - Punktmuster Hexagonal - (Auszug aus Tabelle 50 des TA)	297
40	Einteilung der VB in Klassen gemäß der relativen Entropie ihrer Versandverteilung	299
41	Modellapproximation der vorgegebenen VSM mit Stufe 5 des Konkurrenzmodells - Punktmuster Hexagonal - (Auszug aus Tabelle 51 des TA)	305
42	Punktmuster Hexagonal, auf Süd-VB umgeordnet: Veränderung des Präferenzanteils bei Übergang von Stufe 3 zu Stufe 5 für die Versandpräferenzverteilung ausgewählter Quellen (Angabe: Präferenzanteil Stufe 3 - Präferenzanteil Stufe 5)	307
43	Modellapproximation der vorgegebenen VSM auf Stufe 3 des Konkurrenzmodells - Punktmuster Süd-VB - (Auszug aus Tabelle 52 des TA)	316
44	Modellapproximation der vorgegebenen VSM mit Stufe 5 des Konkurrenzmodells - Punktmuster Süd-VB - (Auszug aus Tabelle 53 des TA)	320
45	Modellapproximation der vorgegebenen VSM mit nochmaliger Erweiterung der Stufe 5 des Konkurrenzmodells - Süd-VB - (Auszug aus Tabelle 49 des TA)	327
46	VB mit hohem bzw. niedrigem Bestimmtheitsmaß in der Modellapproximation auf den Stufen 3 und 5, nach Punktmustern getrennt	333
47	Charakterisierung der Original- und Modellpräferenzverteilungen mit Hilfe der ordinalen Medianentfernung und der zugehörigen ordinalen Interquartil-Variationsbreite, nach Punktmustern getrennt	336
48	Bestimmtheitsmaße der Modellapproximation ausgewählter Verkehrsverteilungen unter Punktmuster 'Süd-VB'	340

VERZEICHNIS DER ABKÜRZUNGEN

a) Mathematische Zeichen

\approx	annähernd gleich
$m \ll n$	m sehr klein gegen n
\cap, \setminus	mengentheoretischer Durchschnitt bzw. Differenz
\mathbb{N}	Menge der natürlichen Zahlen
\mathbb{R}^n	n-dimensionaler Raum über dem Körper der reellen Zahlen
\nLeftarrow	Abschluß eines Widerspruchs-Beweises
$\| \cdot \|$	Norm
\triangleq	Entspricht-Zeichen; keine Äquivalenzrelation wie die Gleichheit

b) Abkürzungen, Begriffe, Definitionen

α	Exponent der Entfernungsfunktion
A_i	Ausgleichsfaktor der räumlichen Empfangskonkurrenz an der <u>Quelle</u> i im räumlichen Konkurrenzmodell; angenommene Näherung:

$$A_i = \frac{1}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n E_k d_{ik}^{-\alpha_i}}$$

$A_i^* = A_i T$	Ausgleichsfaktor A_i , multipliziert mit dem im System abgewinkelten Gesamtverkehr T
A^r	Ausgleichsfaktor A, bezogen auf die durchschnittliche Empfangskonkurrenz im Gesamtsystem
Aufkommensmenge	<u>Versand-</u> oder <u>Empfangsmenge</u> eines <u>Punktes</u>
Aggregationsproblem	Einteilung des Untersuchungsgebietes in Verkehrs-Zählbezirke (bspw. VB) und nachfolgende Auswahl je eines <u>Punktes</u> pro Zählbezirk, in dem alle im Bezirk ansässigen Versender bzw. Empfänger konzentriert gedacht sind

B_j	Ausgleichsfaktor der räumlichen Versandkonkurrenz an der <u>Senke</u> j im räumlichen Konkurrenzmodell; angenommene Näherung:
	$B_j = \frac{1}{\sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^n \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq l}}^n \frac{v_l d_{lj}^{-\alpha_1}}{E_k d_{lk}^{-\alpha_1}}}$
B^r	Ausgleichsfaktor B, bezogen auf die durchschnittliche Versandkonkurrenz im Gesamtsystem
BW	Baden-Württemberg
BY	Bayern
$C = \sum_{i,j=1}^n T_{ij} c_{ij}$	Gesamtaufwand, der für den zu untersuchenden Verkehr im Gesamtsystem erbracht wird
c_{ij}	Aufwand (gemessen in Geld oder Entfernung etc.), um eine Verkehrseinheit von <u>Quelle</u> i nach <u>Senke</u> j zu transportieren
χ^2	Wert der Teststatistik des χ^2 -Testes
cov	Kovarianz
d_{ij}	Entfernung zwischen <u>Quelle</u> i und <u>Senke</u> j (≠ Entfernung zwischen <u>Punkt</u> i und <u>Punkt</u> j)
E	<u>Empfangsmenge</u>
E(X)	Erwartungswert (arithmetisches Mittel) der Variablen X; erstes Moment der Verteilung von X
e	Euler'sche Zahl, Basis des natürlichen Logarithmus
Empfangs-Entfernungsverteilung	Ordnung der Entfernungen einer <u>Senke</u> zu den <u>Quellen</u> absteigend nach ihrer Größe (≠ Ordnung der entsprechenden Spalte der <u>Entfernungsmatrix</u>)
Empfangsmenge	Gesamtempfang einer <u>Senke</u> und Summe der entsprechenden Spalte der <u>Verkehrsstrommatrix</u>
Entfernungsmatrix	tabellarische Auflistung der Entfernungen zwischen den einzelnen <u>Punkten</u>
Entfernungsverteilung	Ordnung der von einem <u>Punkt</u> nach allen anderen Punkten gemessenen Entfernungen absteigend nach ihrer Größe (≠ Ordnung der entsprechenden Zeile/Spalte der Entfernungsmatrix)
e	numerische <u>Exzentrizität</u> der <u>S.A.E.</u>

euklidische Norm	<p>Abbildung des linearen Raumes E über dem Körper der reellen Zahlen in die reellen Zahlen, die im Falle des n-dimensionalen Zahlenraumes durch</p> $\|x\|_2 = \left(\sum_{j=1}^n |x_j|^2 \right)^{1/2}$ <p>gegeben ist. Die euklidische Norm ist als verallgemeinerte Distanz im R^n aufzufassen</p>
Exzentrizität	numerische Exzentrizität der S.A.E., definiert als das Verhältnis von linearer Exzentrizität und großer Halbachse der Ellipse
f	(in Verbindung mit Histogramm) Häufigkeit
f(d)	Entfernungsfunktion
friction	Bezeichnung für die Vorstellung bzw. deren operationale Umsetzung, daß der Raum nach allen Richtungen gleich, unabhängig von der relativen Lage der <u>Quelle</u> und der angesteuerten Senken, lediglich mit der Distanz variierend die <u>Stärke der Interaktion</u> beeinflusst (vgl. auch <u>Widerstandsfunktion</u>)
Gravitationsmodell	Ansatz, die zwischen <u>Quelle i</u> und <u>Senke j</u> stattfindende <u>Interaktion</u> unter Einbezug der interagierenden Massen und der Entfernung zu bestimmen
einfaches ~	$T_{ij} = K \frac{V_i E_j}{d_{ij}^{-\alpha}}$
erweitertes ~	Spezialfall der Wilson'schen Herleitung eines allgemeinen Interaktionsmodells; neben der Raumvariablen Distanz geht auch die 'Relative Lage' in das Modell ein
GGR	Gütergruppe; kleinste statistische Einheit der amtlichen Verkehrsstatistik
GV	Güterverzeichnis der amtlichen Statistik
Hexagonal	Kurzbezeichnung für das aus 24 <u>Punkten</u> bestehende Muster (vgl. Abb. 19); leichte <u>Abweichungen</u> vom reinen Hexagonalmuster gegeben
Hexagonal regelmäßig	aus 24 <u>Punkten</u> gebildetes reines Hexagonalmuster; nahezu <u>identisch</u> mit <u>Hexagonal</u>
HGR	Hauptgütergruppe; Zusammenfassung mehrerer Gütergruppen ergibt eine Hauptgütergruppe; mittlere Aggregationsebene der amtlichen Verkehrsstatistik

HBW	home-based work (traffic); (morgendlicher) Berufsverkehr mit Wohnung als <u>Quelle</u> und Arbeitsplatz als <u>Senke</u>
Interaktion	die in den <u>Punkten</u> ansässigen Versender knüpfen Verkehrsbeziehungen mit den in den Punkten ansässigen Empfängern (Binnenverkehr ausgeschlossen)
Interquartilabstand -variationsbreite -range	Differenz zwischen 3. und 1.Quartil einer Verteilung; lageabhängiges Streuungsmaß
'Johnston'	Kurzbezeichnung für das aus 25 <u>Punkten</u> bestehende, von Johnston [129] simulierte Punktmuster (vgl. Abb. 5)
K	Proportionalitätsfaktor des <u>einfachen Gravitationsmodells</u>
Konzentration	(im Zusammenhang mit der S.A.E.) Prozentanteil der innerhalb der <u>S.A.E.</u> befindlichen (gewichteten) Punkte (vgl. Yuill [262])
log	natürlicher Logarithmus zur Basis <u>e</u>
log ₁₀	Logarithmus zur Basis 10
log ₂	Logarithmus zur Basis 2
mod (a,b)	Modulo-Funktion; hiermit wird der (positive) Divisionsrest (einschl. 0) bei Division von a durch b bezeichnet
NRW	Nordrhein-Westfalen
O	beobachteter (Original-)Verkehr; auch als V bezeichnet
Präferenz	Beurteilung des realen Verkehrs in Vielfachen jenes Verkehrs, welcher unter gegebenen Rahmenbedingungen auf Stufe 2 fließen würde
Punkt	eine aus einem Gebiet (bspw. <u>VB</u>) ausgewählte Verkehrsquelle und -senke; jeder Punkt tritt als <u>Quelle</u> und <u>Senke</u> auf (vgl. auch <u>Aggregationsproblem</u>)
Punktmuster	Gesamtheit aller im Untersuchungsgebiet ausgewählter <u>Punkte</u>
Quelle	<u>Punkt</u> in seiner Eigenschaft als Versender von Verkehr
range (Spannweite)	Differenz von maximalem und minimalem Wert einer Variablen

Räumliche Auto- korrelation	Maß für die räumliche (nachbarschaftliche) Selbstbeeinflussung der Werte einer Variablen
Relation	mögliche Verkehrsverbindung zwischen zwei <u>Punkten</u>
s	Standardabweichung
s^2	Streuung oder Varianz
s_e	Standardfehler der Regressionsschätzung
S.A.E.	Standardabweichungsellipse
Senke	<u>Punkt</u> in seiner Eigenschaft als Empfänger von Verkehr
Spannweite	vgl. <u>range</u>
Statistische Parameter	gemeint sind die Parameter der beschreibenden Statistik (\bar{x} , s, v, u.a.)
'Süd-VB'	Kurzbezeichnung für das aus 24 <u>Punkten</u> bestehende Muster der aus den 24 süddeutschen Verkehrsbe- zirken ausgewählten Verkehrsschwerpunkte
System	Menge von Objekten, die durch irgendwie geartete Beziehungen miteinander in Verbindung stehen
T	modellhaft berechneter Gesamtverkehr im betrach- teten Verkehrssystem
T_{ij}	modellhaft berechneter Verkehr von <u>Quelle</u> i nach <u>Senke</u> j
τ	Makrozustand; Beschreibungsebene der Verkehrs- verteilung, die der <u>VSM</u> entspricht
θ	Winkel zwischen den Hauptachsen zweier (ver- gleichbarer) <u>S.A.E.</u>
TD	durchschnittliche Transportweite
TKL	tonnenkilometrische Leistung
Thiessen-Polygon	Regionalisierung eines Gebietes dergestalt, daß den vorgegebenen Zentren jene Gebietsteile zu- geordnet werden, die ihnen von allen anderen Zentren am nächsten gelegen sind
V	<u>Versandmenge</u>
v	Variationskoeffizient; $v = \frac{s}{\bar{x}}$

VB	Verkehrsbezirk; kleinste räumliche Einheit der amtlichen Verkehrsstatistik, für die Güterbewegungen nachgewiesen werden
Verkehrsstrommatrix	tabellarische Auflistung der Verkehrsbeziehungen zwischen den <u>Quellen</u> und <u>Senken</u>
Versand-Entfernungsverteilung	Ordnung der Entfernungen einer <u>Quelle</u> zu den <u>Senken</u> absteigend nach ihrer Größe (<u>▲</u> Ordnung der entsprechenden Zeile der <u>Entfernungsmatrix</u>)
Versandmenge	Gesamtversand einer <u>Quelle</u> und Summe der entsprechenden Zeile der <u>Verkehrsstrommatrix</u>
Verzerrung	Kurzbezeichnung für das aus 24 <u>Punkten</u> bestehende Muster, welches mit Hilfe der exponentiellen Transformation aus ' <u>Hexagonal</u> ' gewonnen wurde
VSM	<u>Verkehrsstrommatrix</u>
$W(\tau)$	Anzahl der zum Makrozustand τ gehörigen Mikrozustände
Widerstandsfunktion	Formelmäßiger Ausdruck für die Vorstellung, daß die Stärke der Interaktion von Raumgrößen beeinflusst wird; hier werden die Raumgrößen Distanz und Relative Lage berücksichtigt, so daß die Widerstandsfunktion für jede <u>Quelle</u> spezifisch und nicht für den gesamten Untersuchungsraum konstant ist (vgl. auch <u>friction</u>)
\bar{x}	arithmetisches Mittel
R	Rand
ZL	Zwischenlage
Z	Zentrum

MATHEMATISCHER ANHANG

	Seite
M 1. Zur relativen Lage als Bestandteil der Entfernungsmatrix	392
M 1.1 Asymmetrie der ordinalen Entfernungsmatrix	392
M 1.2 Entfernungsverteilungen in einem abgeschlossenen Untersuchungsgebiet	393
M 2. Exponentielle Transformation	396
M 3. Ausgleichsfaktoren bzw. räumliche Konkurrenz und relative Lage	398
M 3.1 Relative Lage und Versandkonkurrenz	398
M 3.2 Räumliche Konkurrenz und Kovarianz; Stufe 3	400
M 3.3 Veränderung der Versandkonkurrenz bei Veränderung der lokalen Entfernungsfunktion; Stufe 4	401
M 3.4 Grenzentfernung, innerhalb der B-Werte verglichen mit Stufe 2 ($k=5,11$) von Zunahme nach Abnahme umschlagen, wenn Quelle 5 die Verteilungstypen $k=5,11,17$ durchläuft; Stufe 4	403
M 4. Zur Definition der Präferenzen	405
M 4.1 Abschätzung der Entropie der Verkehrsstrommatrix auf Stufe 1	405
M 4.2 Definition und Eigenschaften der Präferenzmatrix	407
M 5. Zur räumlichen Variation der Entropie der Verkehrsverteilung von Quellen	408
M 5.1 Zusammenhang von relativer Lage und (relativer) Entropie der Versandverteilung von Quellen unter Annahme des einfachen Gravitationsmodells mit Zeilenausgleich	408
M 5.2 Räumliche Verteilung der Versandentropie bei ordinaler Entfernungsmatrix; Stufe 2	410
M 5.3 Abhängigkeit der Entropieveränderung von relativer Lage bei Veränderung einer einzelnen Aufkommensmenge; Stufe 3	411

M 6.	Berechnungsgrundlagen und Bemerkungen zu verschiedenen Stufen	414
M 6.1	Abhängigkeit des Exponenten eines einfachen Entropie-Maximierungsmodells ohne Nebenbedingungen (1), (2) von Größen des Gesamtsystems	414
M 6.2	Anwendungsfall auf Stufe 3: Ermittlung des Exponenten der Entfernungsfunktion für den Gesamttraum	415
M 6.3	Ermittlung des lokalen Exponenten der Entfernungsfunktion, wenn die zugehörige Quelle eine von Stufe 2 abweichende Einschätzung des Aufwands vornimmt; Stufe 4	420
M 6.4	Berechnung der variablen Versandexponenten auf Stufe 5	421
M 7.	Einzelmethoden und Testverfahren	425
M 7.1	Bemerkungen zur Standardabweichungsellipse (S.A.E.)	425
M 7.2	Bestimmung der "reellen" Median-Entfernung	426
M 7.3	Urnenmodell und Hope-Test	426
M 7.4	Vergleich von Entropiewerten; Entropie und Standardabweichung	427
M 7.5	Zur Differenz der Bestimmtheitsmaße von Stufe k und Stufe 1	429
M 7.6	Raumunabhängiger Test zur Signifikanz von Teilsystemen	430

VERZEICHNIS DER TABELLEN DES TABELLENANHANGS

Nr.		Seite
	<u>Entropie-Maximierungshypothese</u>	
1	Ausgewählte Mikrozustände zu den Makrozuständen 3, 30, 55	434
	<u>Entfernungsmatrizen / Nachbarschaften / Relative Lage</u>	
2	Punktmuster 'Johnston'; ordinale Entfernungsmatrix	437
3	Punktmuster 'Johnston'; Nachbarschaften nach Ordnung	438
4	Punktmuster 'Süd-VB'; transformierte Entfernungsmatrix	439
5	Übergang von 'Süd-VB' zu 'Hexagonal': Gegenüberstellung von Parametern der relativen Lage und Nachbarschaften	440
	<u>Modellrechnungen</u>	
6	Modellrechnung auf Stufe 2 Punktmuster 'Johnston'; reale Entfernungsmatrix; Verkehrsverteilung des modifizierten Gravitationsmodells (Beziehung 16)	442
7	Punktmuster 'Johnston'; ordinale Entfernungsmatrix: Verkehrsverteilung des einfachen Gravitationsmodells auf Stufe 2 (Beziehung 16)	443
8	Modellrechnungen auf Stufe 3 Punktmuster Hexagonal und Verzerrung; Kovarianzen im Gesamtsystem unter den Empfangsmengenvariationen 31, 32 sowie Einzelbetrachtungen unter Hexagonal für die Quellen 5, 8, 13	444
9	Modellrechnungen auf Stufe 3 Punktmuster Hexagonal und Verzerrung; Variation der A-Werte (relativ); Punktmuster Verzerrung; A-Werte (absolut)	445
10	Modellrechnungen auf Stufe 3 Punktmuster Hexagonal; Variation der B-Werte (relativ)	446
11	Modellrechnungen auf Stufe 3 Punktmuster Verzerrung; Variation der B-Werte (relativ)	446
12	Modellrechnungen auf Stufe 3 Punktmuster Hexagonal und Verzerrung; Variation der relativen Versandentropien	447

Nr.		Seite
13	Modellrechnungen auf Stufe 5 Punktmuster Hexagonal und Verzerrung; unter Konkurrenzverhältnissen der Stufe 2 getrennt berechnete Einzelexponenten für k= 5, 11, 17 sowie regional differenzierte Einzelexponenten für k= 5, 11 im Gesamtraum	448
	<u>VB-Auswahl und Auswahl der VB-Schwerpunkte</u>	
14	VB-Auswahl und Auswahl der VB-Schwerpunkte	450
	<u>Teilverkehrauswahl / Elektrotechnische Industrie</u>	
15	Fläche der VB; Betriebe und Beschäftigte der Elektrotechnischen Industrie 1970; Kennzahlen auf VB-Ebene	452
16	Regionaler Repräsentationsgrad des Sample, geschätzte Produktivitätsfaktoren	453
17	1972 in der BRD in der Elektrotechnischen Industrie Beschäftigte und Jahresproduktion je Beschäftigter nach Warenklasse	454
18	Güterverkehr mit der Abteilung 9 (ohne HGR 99) innerhalb Süddeutschlands; Aufgliederung des Versands der VB auf die Hauptgütergruppen in Prozent	455
	<u>Originalmatrix Süd Gesamt, GGR 931, 1972</u>	
19	Verkehr mit der Gütergruppe 931 innerhalb Süddeutsch- lands im Jahre 1972; Originalmatrix ohne Binnenverkehr, aus Addition von Teilmatrizen für Bahn und Lkw gewonnen; Zugehörige Präferenzmatrix	457
20	Approximation des Verkehrs mit Gütergruppe 931 auf Stufe 2; Überführung der Originalmatrix auf Stufe 2; Zugehörige Präferenzmatrix	458
21	Verkehr mit der Gütergruppe 931 innerhalb Süddeutsch- lands im Jahre 1972; Versand- und Empfangsmengen in Tonnen; Aufteilung des Versands und Empfangs auf die Verkehrsträger	459
22	Verkehr mit der Gütergruppe 931 innerhalb Süddeutsch- lands im Jahre 1972; Klassifizierung der fünf ersten Versandziele nach Nachbarn n-ter Ordnung	460
23	Verkehr mit der Gütergruppe 931 innerhalb Süddeutsch- lands im Jahre 1972; Durchschnittliche Transportweiten; real und auf Stufe 1 (in km)	461

Nr.		Seite
24	Lineare Regression; Gesamtversand in Abhängigkeit von den Beschäftigten	462
25	Lineare Regression; Gesamtversand in Abhängigkeit von den mit Hilfe der Produktivitätsfaktoren modifizierten Beschäftigten	463
26	Verkehr mit der Gütergruppe 931 innerhalb Süddeutschlands im Jahre 1972; (Paarige) Relationen mit mehr als 70,2 t sowie nicht existente Relationen	464
27	Verkehr mit der Gütergruppe 931 innerhalb Süddeutschlands im Jahre 1972; Entfernungen der nichtexistenten Relationen im Vergleich zur durchschnittlichen Versandentfernung der VB	465
28	Verkehr mit der Gütergruppe 931 innerhalb Süddeutschlands im Jahre 1972; (Paarige) Präferenzrelationen über 1,2	466
29	Verkehr mit der Gütergruppe 931 innerhalb Süddeutschlands im Jahre 1972; Aus Quelle und den vier wichtigsten Präferenzzielen gebildete und signifikante Teilsysteme	467
30	Verkehr mit der Gütergruppe 931 innerhalb Süddeutschlands im Jahre 1972; Signifikanzen aller möglichen Sub-Teilsystemen der Teilsysteme I und II	468
<u>Urnenmodell</u>		
31	Urnenmodell; Ergebnisse der 1.Hypothese	470
32	Urnenmodell; Ergebnisse der 2.Hypothese	471
33	Urnenmodell; Ergebnisse der 3.Hypothese	472
34	Urnenmodell; Ergebnisse der 4.Hypothese	473
<u>Approximation der Originalmatrix mit Hilfe des Konkurrenzmodells</u>		
35	Approximation der Originalmatrix auf Stufe 2 Punktmuster Hexagonal, auf Süd-VB umgeordnet; Präferenzmatrix der Approximation	475
36	Approximation der Originalmatrix auf Stufe 2 Punktmuster Süd-VB; Präferenzmatrix der Approximation	476
37	Approximation der Originalmatrix auf Stufe 2 Vergleich der Punktmuster; Punktmuster Hexagonal, auf Süd-VB umgeordnet und Süd-VB; absolute und relative regionale Bestimmtheitsmaße	477

Nr.		Seite
38	Approximation der Originalmatrix Bestimmtheitsmaße für alle Punktmuster, Stufen sowie Versand und Empfang	478
39	Approximation der Originalmatrix Relative Entropiewerte des Originals und aller Modellapproximationen für beide Punktmuster, alle Stufen sowie Versand und Empfang	479
40	Approximation der Originalmatrix Punktmuster Hexagonal; auf Süd-VB umgeordnet; ordinale Quartilentfernungen von Original, Stufen 3 und 5 für die Präferenzverteilung der VB	480
41	Approximation der Originalmatrix Punktmuster Süd-VB; ordinale Quartilentfernungen von Original, Stufen 3, 5 und Erweiterung für die Versandpräferenzverteilung der VB	481
42	Approximation der Originalmatrix Punktmuster Süd-VB; relative Parameter der S.A.E. für die Versandpräferenzverteilung der VB bei Original, Stufen 3 und 5 sowie der Modellerweiterung	482
43	Approximation der Originalmatrix auf Stufe 3 Punktmuster Hexagonal, auf Süd-VB umgeordnet, an- genäherte Relationen mit einem Fehler unter 10%	483
44	Approximation der Originalmatrix auf Stufe 5 Punktmuster Hexagonal, auf Süd-VB umgeordnet; an- genäherte Relationen mit einem Fehler unter 10%	484
45	Approximation der Originalmatrix auf Stufe 3 Punktmuster Süd-VB; angenäherte Relationen mit einem Fehler unter 10%	485
46	Approximation der Originalmatrix auf Stufe 5 Punktmuster Süd-VB; angenäherte Relationen mit einem Fehler unter 10%	486
47	Approximation der Originalmatrix; Vergleich der Stufen 3 und 5 Ergebnisse der Trendoberflächenanalyse zur Unter- suchung der Veränderung der Widerstandsfunktion bei Übergang von Stufe 3 zu Stufe 5; Punktmuster Hexagonal, auf Süd-VB umgeordnet	487
48	Approximation der Originalmatrix mit Modeller- weiterung der Stufe 5 Punktmuster Süd-VB; angenäherte Relationen mit einem Fehler unter 10%	488
49	Approximation der Originalmatrix mit nochmaliger Modellerweiterung Punktmuster Süd-VB; absolute und standardisierte Teilexponenten Versand, Empfang; Ausgleichsfaktoren	489
50	Approximation der Originalmatrix auf Stufe 3 Punktmuster Hexagonal, auf Süd-VB umgeordnet; modellhaft berechnete Präferenzmatrix	490

Nr.		Seite
51	Approximation der Originalmatrix auf Stufe 5 Punktmuster Hexagonal, auf Süd-VB umgeordnet; modellhaft berechnete Präferenzmatrix	491
52	Approximation der Originalmatrix auf Stufe 3 Punktmuster Süd-VB; modellhaft berechnete Präferenzmatrix	492
53	Approximation der Originalmatrix auf Stufe 5 Punktmuster Süd-VB; modellhaft berechnete Präferenzmatrix	493
54	Approximation der Originalmatrix Punktmuster Süd-VB; alle Approximationsstufen; statistische Parameter der gewichtsmäßigen und räumlichen Verteilung der Versandpräferenzen original und approximiert für ausgewählte VB	494
55	Approximation der Originalmatrix Den Teilsystemen I, II entsprechende Ausschnitte aus den Präferenzmatrizen von Original und allen durchgeführten Modellapproximationen, nach Punkt- mustern getrennt	495

1. GRUNDFRAGEN UND ZIELE

1.1. VERKEHRSVERTEILUNGSUNTERSUCHUNGEN INNERHALB DER VERKEHRSGEOGRAPHIE

Smith [224] hat drei geographische Forschungsschwerpunkte für Güterbewegungsuntersuchungen herausgestellt:

- Vergleich des tatsächlichen mit dem unter bestimmten Bedingungen erwarteten Durchfluß einer Strecke
- Beurteilung der Effektivität eines beobachteten Verteilungsmusters
- Aufdecken von Strukturen (bspw. Hierarchien) in Verteilungsmustern.

Dem gegenübergestellt sei die Umschreibung der Aufgabenstellung der funktionalen Verkehrsgeographie, wie sie sich bei Schliephake [213, p.36] findet:

"Die funktionale Verkehrsgeographie soll die gegenseitige Abhängigkeit zwischen dem Verkehrsgeschehen als konkreter Erscheinung und als räumlichem System und dem Raum in seiner natürlichen, bevölkerungsmäßigen und sonstigen vom Menschen geprägten Ausstattung; unter dem Einfluß wirtschaftlicher, sozialer und politischer Mechanismen; unter Berücksichtigung historischer Abläufe, soweit sie für heutiges Geschehen mit verantwortlich sind im Hinblick auf die Erklärung der heutigen Raumstrukturen, ihrer Entstehung und möglichen zukünftigen Entwicklung darstellen und wenn möglich auch quantifizieren."

Der Unterschied zwischen alles umfassender Aufgabenstellung im Gesamtgebiet und spezialisierter im Teilbereich ist zu erwarten. Daß jedoch die Konzentration auf eng begrenzte Fragen so weit fortgeschritten ist, sollte näher betrachtet werden.

1. Schliephake verknüpft den Verkehr mit einer Vielzahl von Objekten, die zwar alle geographischer Betrachtung zugänglich sind, deren Einflüsse auf den Verkehr jedoch oft nicht quantifiziert werden können. So wird beispielsweise in dem einfachen Begriffssystem von Ullman [246] versucht, die Gründe für funktionale Beziehungen zwischen zwei Gebieten mit Hilfe von

- Komplementarität
- intervening opportunity
- Distanz (Transferabilität)

in den Griff zu bekommen. Doch schon der Nachweis von Komplementarität im Güterverkehr setzt detaillierte Kenntnisse über Produktionsabläufe, Distributionsstrategien und Marktkonkurrenzen sowie Handelsbeziehungen voraus, die vielleicht für einzelne Firmen, nicht aber für den Gesamtverkehr erhältlich sind. Hieraus ist zunächst ersichtlich, warum versucht wird, das Forschungsobjekt zu isolieren.

2. Verkehrsflußdaten sind gemäß dem Charakter des Verkehrs funktionale (vektorielle) Größen: sie geben jeweils über Existenz, Richtung und Intensität des Kontakts zweier Punkte Auskunft. Soll nun das Ausgangs-Zahlenmaterial einigermaßen aussagekräftig sein, enthält es eine solche Fülle von Punktinformationen, daß sich die Aggregation zu größeren räumlichen Einheiten empfiehlt, die in der Güterbewegungsstatistik gewöhnlich "Verkehrsbezirke" (Abk.: VB) genannt werden [231]. Die dadurch gewonnene Übersichtlichkeit wird aber erkauft durch einen - gegenüber strukturellen (skalaren) Größen - doppelten Informationsverlust. Man kann innerhalb eines Verkehrsbezirkes weder Quellen noch Senken lokalisieren, was sich besonders bei Untersuchungen von Nachbarschafts- und Binnenverkehren nachteilig auswirkt. Auch der gewählte Transportweg kann nur ungefähr rekonstruiert werden. Dieses räumliche Aggregationsproblem zwingt die Forscher dazu, den Untersuchungsraum hinsichtlich seiner Aufteilung in VB, deren Gestalt und Fläche, die Verteilung potentieller Quellen und Senken innerhalb der VB besonders genau mit Hilfe von Hypothesen zu beschreiben, um mögliche Auswirkungen der Aggregation auf die Ergebnisse zu erkennen. Hier liegt ein Arbeitsgebiet, das eng mit dem eigentlichen Forschungsgegenstand - der Erklärung der räumlichen Verkehrsverteilung - gekoppelt ist und nicht vernachlässigt werden kann.

3. Trotz vorausgegangener räumlicher Aggregation hat man in den meisten Fällen eine Fülle von räumlichen Verknüpfungen gleichzeitig und nebeneinander zu betrachten, eine Aufgabe, die zur Einführung und Anwendung von Modellen geradezu nötigt. Dabei handelt

es sich in der Regel um Submodelle der Funktion im Sinne von Minshull [173], weniger um Submodelle von theoretischen Konzepten. In ihnen wird in überschaubarer Form eine Hypothese über den Zusammenhang von beobachteter Verkehrsverteilung als zu erklärende Größe und Raumvariablen wie Nachbarschaft, Distanz, Richtungsorientierung [Nystuen; 181] oder räumlich verteilten, den Verkehr beeinflussenden Größen formuliert und überprüft. Es ist nicht von ungefähr, daß erklärende Modelle sehr rar sind, ist man doch zunächst bemüht, mit Hilfe des Modells die Information in den Griff zu bekommen, bestenfalls die beobachteten Verteilungen zu reproduzieren. Weit weniger hat man statt dessen Gelegenheit, normative oder ideale Modelle zu entwickeln, da Verteilungstypen nicht offen zutage treten.

Einer Gefahr setzt man sich jedoch aus, wenn nur wenige raumbezogene Größen als erklärende Variablen im Modell Eingang finden: die realen Zusammenhänge werden stark vereinfacht dargestellt; es wird nur die Verbindung zwischen Verkehrsverteilung und Raum gesehen und sie wird oft überinterpretiert [Brown; 42].

1.2. VERWENDETER MODELLBEGRIFF

Der hier verwendete Modellbegriff ist der Arbeit von Minshull [173] entlehnt. Wie Minshull ausführt, erleichtert das Modell, zu Theoriebildungen zu kommen. Charakterisiert wird es dadurch, daß es einen durchdenkbaren Zusammenhang zwischen mehreren geographischen Objekten darstellt. Dieses Wesensmerkmal wird selten betont, ist aber von außerordentlicher Wichtigkeit für die weiteren Untersuchungen. Hat man nämlich ein schwer durchschaubares Forschungsobjekt mit Hilfe einer Hypothese strukturiert, so ist auch diese oft in ihrer ganzen Tragweite nicht sofort faßbar. Andererseits ist es geradezu wünschenswert, daß die angenommenen Zusammenhänge in aller Konsequenz ersichtlich sind. Wie sonst könnte das Modell als Vergleichs- und Bezugssystem für die Realität herhalten? Erst

eine genaue Kenntnis seiner Wirkungsweise versetzt den Anwender in die Lage, sowohl die zugrunde liegende Theorie vollständig zu formulieren als auch bei der Benutzung zu möglichen Verbesserungen oder Ablehnungen zu gelangen. Die dem Modell eigene Geschlossenheit erlaubt es, Experimente an ihm selbst durchzuführen, um so die oben geforderte Sicherheit im Umgang zu erlangen. Man vergleiche hierzu die Arbeiten von Saviranta [211] und Black [28].

Das zu betrachtende Modell erfüllt hier einen dreifachen Zweck:

1. Vereinfachung von Zusammenhängen
2. Datenreduktion
3. Normatives Bezugssystem.

ad 1. siehe oben.

ad 2. Zwischen n Raumpunkten können n^2 Verkehrsbeziehungen (einschl. Binnenverkehr) bestehen. Mittels des hypothetischen Zusammenhanges zwischen Verkehrsfluß und Raumvariablen ist es im zu betrachtenden räumlichen Konkurrenzmodell möglich, die n^2 Beziehungen durch $2n + 1$ Kennzahlen (Modellparameter) zu charakterisieren. Zum Tragen kommt diese Datenreduktion erst ab $n = 20$, wenn die Anzahl der Parameter etwa 10% der Anzahl der zu schätzenden Verkehrsbeziehungen ausmacht (vgl. auch 4.3.4).

ad 3. Unter Norm wird im üblichen Sprachgebrauch ein Mittelwert verstanden. Die Norm muß in der Realität nicht vorkommen, sie trägt aber die Wesenszüge des von ihr repräsentierten Typs, eignet sich damit als Vergleichsbasis für reale Fälle. Tatsächlich stellt die hier behandelte Norm den Modalwert dar; d.h. das mit Hilfe des Modells gewonnene Verteilungsmuster tritt in der Realität auf; ja es tritt sogar häufiger auf als jedes andere. Jedoch ist auf einen Unterschied zu anderen Normen hinzuweisen. Sie ist nicht aufgrund einer Querschnittsbildung vieler untersuchter Einzelfälle gefunden worden, was einer Informationsreduktion entspräche. Vielmehr entspringt sie dem Konzept, die wahrscheinlichste Gestalt des Verteilungsmusters aufgrund der vorhandenen und nicht vermehrbaren Information zu bestimmen. Dabei ist es kein

Widerspruch zum Norm-Konzept, wenn diese Ausgangsinformation der Realität entlehnt wird und aufeinander folgenden Ebenen der Modellentwicklung erweitert wird. Denn eine abstrakte, ohne Wirklichkeitsbezug definierte Norm gibt schwerlich eine geeignete Vergleichs- und Bezugsbasis ab.

Nach Minshull [173, p.44] setzt sich ein vollständiges Modell aus drei Bestandteilen zusammen:

1. eine Darstellung der Struktur, der Elemente des Systems;
2. eine Beschreibung, wie das System arbeitet, wie die Elemente in Beziehung treten;
3. eine hinreichende und notwendige Erklärung des Systems und seiner Funktionsweise.

Erst mit einem in diesem Sinne vollständigen Modell könne man experimentieren und Hypothesen testen. Es ist ergänzend auszuführen, daß die Darstellung der Struktur die Übertragung der Realität in das zu untersuchende System beinhaltet. An dieser Stelle werden Vereinfachungen und Verkürzungen gemacht, die in der Hypothese Eingang finden müssen, um die Anwendungsfähigkeit aufzuzeigen. So muß die Hypothese mit den Voraussetzungen beginnen, unter der sie als gültig erachtet wird. Und sie muß, soweit möglich, a priori mit der Angabe der Genauigkeitsschranken (Tests) schließen, innerhalb deren das Modell als der Realität angepaßt angesehen werden oder als Norm Verwendung finden kann.

Die Darstellung des hier zugrunde liegenden Modellbegriffs sowie der weitere Aufbau der Arbeit mag zu dem Schluß verleiten, daß das Modell - womöglich einer modernen Strömung folgend - zum Selbstzweck erhoben wird. Diesem Vorwurf möchte sich der Autor auf keinen Fall aussetzen und möchte zur Rechtfertigung der Arbeit zwei Hauptgesichtspunkte anführen:

- (i) der Versuch der Auseinandersetzung mit Ansätzen, die aus der Kritik an einer Fülle von empirischen Arbeiten heraus formuliert wurden;
- (ii) die Überprüfung eines aus anderen Wissenschaftsbereichen übernommenen theoretischen Konzepts aus geographischer Sicht.

(i) Eine Fülle von empirischen Arbeiten zur regionalen Verkehrsverteilung liegt vor, wobei die angewendeten Methoden der Analyse z.T. nur unzureichend theoretisch abgesichert sind. Erst zu Beginn der siebziger Jahre mehren sich die Arbeiten, die eingesetzten Methoden in ihrer Wirkungsweise zu analysieren (vgl. u.a. [Black; 27,28,29], [Chisholm; 52], [Curry; 63], [Johnston; 129, 131], [Saviranta; 211]).

Wenn "erst in der Verbindung von theoretischer Durchdringung und empirischer Wechselwirkung ... Fortschritt der Erkenntnis möglich" ist, [Schöller; 216, p.37], dann scheint es sinnvoll, auf der sich abzeichnenden zweiten Stufe der Durchdringung des vorliegenden Forschungsgegenstandes eine theoretische Abklärung und Diskussion der vorliegenden Ansätze zu versuchen, um anschließend in gezielten empirischen Arbeiten eine Überprüfung und Erweiterung derselben vornehmen zu können (vgl. 5.5).

(ii) Im Mittelpunkt der weiteren Bemühungen steht das von Wilson [255] entwickelte Verkehrsverteilungsmodell. Bei seiner Ableitung verwendet Wilson Gedanken aus der Quantenmechanik und Thermodynamik, und es ist ein Hauptansatzpunkt der folgenden Ausführungen nachzuweisen, daß keine echte geographische Übertragung erfolgt. Liest man Besprechungen seiner Arbeiten durch Geographen, so ist man überrascht, daß viel Mühe und Zeit darauf verwendet wird, die Mathematik plausibel zu machen oder weitere physikalische Implikationen auf die Geographie zu übertragen [Gould; 93], [Marchand; 160]. Über eine fehlende Hypothese mit Raumbezug, eine Erklärung der räumlichen Verteilung der Modellparameter findet sich jedoch nichts. Lediglich Curry [63] versucht seine Kritik an räumlichen Ansätzen zu formulieren.

Dieses Verhalten scheint nicht so selten zu sein. Läßt man Minshull zu Wort kommen, so findet man zum Vorgehen bei Modellbildung und -anwendung:

"The procedure must be (a) this is what we want to understand, (b) here is a model put forward as a suggested explanation of it, and not, as is sometimes advocated (a) here is a nice model that meteorologists have a lot of fun with, (b) now how shall we use it? what shall we explain? at what tangent shall we fly off today?" [173, p.11].

1.3 WILSON'SCHE ABLEITUNG DES ERWEITERTEN GRAVITATIONSMODELLS AUS RÄUMLICHER SICHT

Da die Kenntnis der grundlegenden Arbeiten von Wilson vorausgesetzt wird, sollen sich die nachfolgenden Ausführungen nur auf Teilaspekte der Ableitung des erweiterten Gravitationsmodells beschränken. Es ist beabsichtigt, die Auswahl so zu treffen, daß eine Beurteilung der Vollständigkeit der Modellhypothese und der Wirkungsweise des Modells aus räumlicher Sicht ermöglicht wird.

1.3.1 Ausgangssituation, Aufgabenstellung

Gegeben seien n statistische Raumeinheiten (VB). Von jeder dieser Raumeinheiten sei bekannt, welche Menge Verkehr sie im Beobachtungszeitraum als Quelle nach allen n Raumeinheiten versendet bzw. als Senke von allen n Raumeinheiten empfängt. Zusätzlich weiß man noch, welcher Aufwand - d.h. Gesamtausgaben für die Beförderung oder Gesamtbeförderungsleistung - in diesem abgeschlossenen System im Beobachtungszeitraum getrieben wurde. Weitere Informationen sind nicht verfügbar.

Aufgabe ist es, eine Verkehrsverteilung anzugeben, die angesichts dieser Ausgangssituation der Realität am besten entspricht. Dabei ist darauf zu achten, daß die bekannte Information vollständig reproduziert wird, d.h. daß in der berechneten Verkehrsstrommatrix (Abk.: VSM) die Summe aller von einer Quelle ausgehenden Teilverkehre dem als bekannt vorausgesetzten Gesamtversand dieser Quelle entspricht und analog die Summe aller in einer Senke eintreffenden Teilverkehre mit dem als bekannt vorausgesetzten Gesamtempfang dieser Senke übereinstimmt. Ebenso muß der errechnete Aufwand gleich dem bekannten Aufwand sein. Diese Forderungen an die Lösung werden in Zukunft als Nebenbedingungen bezeichnet.

Es fragt sich natürlich, ob solche Situationen wirklichkeitsnah sind. Hierzu sollen zwei Beispiele angeführt werden.

1. Beispiel

Die Untersuchung des öffentlichen Personennahverkehrs einer Großstadt ist wegen der hohen Kosten von Verkehrszählungen detailliert nur für ausgewählte Zeitschnitte möglich, die oft mehrere Jahre auseinander liegen. Nicht selten erreichen Bestandsaufnahmen von Stadtverkehrsplänen bis zur Überarbeitung ein Alter von zehn bis fünfzehn Jahren. Andererseits sind Quell- und Senkenzählungen an den Stationen der öffentlichen Verkehrsmittel verhältnismäßig einfach durchzuführen. Ebenso sind die Gesamteinnahmen der Verkehrsbetriebe aus dem Fahrscheinverkauf (Aufwand im geschlossenen System) für den Erhebungszeitraum bekannt, so daß die oben geschilderte Ausgangssituation gegeben ist.

2. Beispiel

Jährlich werden vom Statistischen Bundesamt im Rahmen der Güterbewegungsstatistik die Versand- und Empfangsmengen der Kreise für die verschiedenen Verkehrsträger veröffentlicht. Gleichzeitig sind die in dem entsprechenden Jahr geleisteten Tonnenkilometer für alle Verkehrsträger bekannt.

Diesem Beispiel kommt besondere Bedeutung in zweierlei Hinsicht zu:

zum einen sind flächendeckende Güterverkehrserhebungen viel zu kostspielig, um für die gesamte BRD durchgeführt zu werden; vielmehr geht die Praxis dahin, nach Bedarf für Planungszwecke einzelne Relationen etwa im Rahmen einer Kosten-Nutzen-Analyse für Verkehrs- und -neubauten zu erfassen;

zum anderen ist man mit dieser regionalen Feingliederung auf einer Ebene angelangt, auf der Informationen über Industriebetriebe gerade noch veröffentlicht werden, so daß Verknüpfungen zwischen Struktur und Funktion etwa zum Zwecke einer wirtschaftsräumlichen Gliederung möglich erscheinen.

Stellt man die Ausgangssituation noch einmal dar, so ergibt sich:

Beispiele

Gegeben sind für jede der
n Raumeinheiten

- Einzugsgebiet der Station
- Kreis

Versandmengen V_1, \dots, V_n

Empfangsmengen E_1, \dots, E_n

sowie der Auf-
wand im System C

- Gesamteinnahmen aus dem
Fahrscheinverkauf
- Gesamttonnenkilometrische
Leistung

Gesucht ist für den Beobachtungszeitraum

der Verkehr von Raumeinheit i
nach Raumeinheit j

$T_{i,j}$

mit (1) $\sum_{j=1}^n T_{i,j} = V_i$

(2) $\sum_{i=1}^n T_{i,j} = E_j$

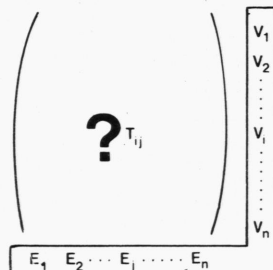
(3) $\sum_{i,j=1}^n T_{i,j} d_{i,j} = C$



Nebenbedingungen

$d_{i,j}$: $\hat{=}$ Fahrpreis von i nach j
 $\hat{=}$ Entfernung von i nach j

Die Beziehung zwischen Aufgabenstellung und Verkehrsstrommatrix stellt untenstehendes Schema her. Unter Vorgabe der Randzeilen und -spalten der Matrix sind die Einzelelemente $T_{i,j}$ so zu bestimmen, daß die Nebenbedingungen erfüllt sind.



Die recht unvollständige Information wird es im allgemeinen nur gestatten, die wirkliche Verkehrsverteilung anzunähern. Nun gibt es Teilverkehre, bei denen die Informationsmenge größer ist. So weiß man beim Steinkohlenverkehr innerhalb der BRD außer den Quellen auch die Hauptabnehmer. Ist der Jahresbedarf der Wärmekraftwerke bekannt, läßt sich ein großer Teil des Verkehrs berechnen. Die Information ist demnach so weitgehend, daß die Komplementarität zweier Knoten nicht nur genau feststellbar, sondern sogar quantifizierbar ist.

Im Falle des Kohlenverkehrs zu den Kokereien innerhalb von NRW liegt eine andere zusätzliche Information vor. Da Kohle in gewissem Sinne als homogenes Gut angesehen werden kann, weiterhin bekannt ist, daß im wesentlichen eine Gesellschaft die Koksproduktion in Händen hält, kann vermutet werden, daß die Belieferung der Kokereien nach dem Prinzip der Transportkostenminimierung vorgenommen wird. Es ergibt sich also zusätzlich eine Verhaltenshypothese über die Verkehrsverteilung der Quellen, der eindeutig die Lösung des Transportproblems der Linearen Optimierung entspricht.

In beiden Fällen bietet die zusätzliche Information die Möglichkeit, auf direktem Weg die Verkehrsverteilung der Quellen zu bestimmen. Nicht so in dem zu behandelnden Fall. Erst unter bestimmten Annahmen kann eine Hypothese über die wahrscheinlichste VSM aufgestellt werden. Nach Berechnung dieser wahrscheinlichsten VSM ist man in der Lage, Aussagen über die Verkehrsverteilung der Quellen in diesem wahrscheinlichsten Fall und nur in diesem zu machen.

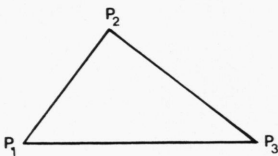
1.3.2 Modellvoraussetzung und Modellhypothese

Anhand des nachfolgenden einfachen Beispiels sollen Modellvoraussetzung und Modellhypothese erläutert werden.

Gegeben seien:

3 Verkehrszonen einer Stadt; 3 Personen je Zone, die morgens von der Wohnung zum Arbeitsplatz fahren; 3 Arbeitsplätze je Zone. Der jeden Morgen in diesem System geleistete Aufwand ist bekannt und wird in Personenkilometern gemessen.

Anzahl der von einer Zone
abgehenden Fahrten : $V_1 = V_2 = V_3 = 3$
Anzahl der in einer Zone
ankommenden Fahrten : $E_1 = E_2 = E_3 = 3$
Gesamtaufwand im System : $C = 27$ Personenkilometer
Räumliche Lage der Zonen-
mittelpunkte und Distanzen :



Entfernungsmatrix [km]*

	1	2	3
1	1	3	5
2	3	1	4
3	5	4	1

* Zur Distanz beim Binnenverkehr vgl.
z.B. Black [28; p.110].

Mit diesen Angaben ist die Ausgangssituation von 1.3.1 vollkommen beschrieben. Die relativ kleine Zahl von Verkehrsteilnehmern erlaubt es, alle möglichen Verkehrsstrommatrizen darzustellen, welche die Information über die Versand- und Empfangsmengen reproduzieren. Sie sind durchnummeriert und in Tabelle 1 aufgeführt. Nimmt man die Information über den Gesamtaufwand zu Hilfe, so genügen von den 55 VSM nur die Nummern 3, 30, 31 und 55 den gestellten Anforderungen. Wilson bezeichnet die hier als Lösung vorgeschlagenen VSM als Makrozustände. Sie stellen eine Beschreibungsebene der tatsächlichen Verkehrsverteilung dar, auf der nicht mehr ersichtlich ist, welche der Personen zu welchem Arbeitsplatz gefahren ist. Nur die Summe aller Personen, die von einer bestimmten Quelle über eine gewisse Entfernung zu einer Senke gelangt sind, wird wiedergegeben. Vollständige Information vorausgesetzt, wäre eine genaue Beschreibung dadurch charakterisiert, daß von jeder Person bekannt ist, in welcher Zone ihr Arbeitsplatz liegt. Diese Beschreibungsebene charakterisiert nach Wilson den Mikrozustand des Systems. Ein oder

Tabelle 1

Zum Beispiel gehörige mögliche Makrozustände

(1) 3 0 0 0 3 0 <u>9</u> 0 0 3	(2) 0 3 0 3 0 0 <u>21</u> 0 0 3	(3) 3 0 0 0 0 3 <u>27</u> 0 3 0	(4) 0 0 3 0 3 0 <u>33</u> 3 0 0	(5) 0 3 0 0 0 3 <u>36</u> 3 0 0	(6) 0 0 3 3 0 0 <u>36</u> 0 3 0
(7) 2 1 0 1 2 0 <u>30</u> 0 0 3	(8) 3 0 0 0 2 1 <u>15</u> 0 1 2	(9) 3 0 0 0 1 2 <u>17</u> 0 2 1	(10) 2 0 1 0 3 0 <u>17</u> 1 0 2	(11) 1 2 0 2 1 0 <u>17</u> 0 0 3	(12) 1 0 2 0 3 0 <u>25</u> 2 0 1
(13) 0 2 1 3 0 0 <u>26</u> 0 1 2	(14) 0 3 0 2 0 1 <u>26</u> 1 0 2	(15) 2 0 1 1 0 2 <u>30</u> 0 3 0	(16) 2 1 0 0 0 3 <u>30</u> 1 2 0	(17) 0 1 2 3 0 0 <u>31</u> 0 2 1	(18) 0 3 0 1 0 2 <u>31</u> 2 0 1
(19) 1 0 2 2 0 1 <u>32</u> 0 3 0	(20) 1 2 0 0 0 3 <u>33</u> 2 1 0	(21) 0 1 2 0 2 1 <u>34</u> 3 0 0	(22) 0 0 3 1 2 0 <u>34</u> 2 1 0	(23) 0 2 1 0 1 2 <u>35</u> 3 0 0	(24) 0 0 3 2 1 0 <u>35</u> 1 2 0
(25) 2 1 0 0 2 1 <u>11</u> 1 0 2	(26) 2 0 1 1 2 0 <u>17</u> 0 1 2	(27) 1 2 0 2 0 1 <u>23</u> 0 1 2	(28) 2 1 0 1 0 2 <u>25</u> 0 2 1	(29) 0 2 1 2 1 0 <u>25</u> 1 0 2	(30) 1 0 2 2 1 0 <u>27</u> 0 2 1
(31) 1 2 0 0 1 2 <u>27</u> 2 0 1	(32) 2 0 1 0 1 2 <u>29</u> 1 2 0	(33) 0 1 2 1 2 0 <u>29</u> 2 0 1	(34) 1 0 2 0 2 1 <u>31</u> 2 1 0	(35) 0 2 1 1 0 2 <u>36</u> 2 1 0	(36) 0 1 2 2 0 1 <u>36</u> 1 2 0
(37) 2 1 0 1 1 1 <u>19</u> 0 1 2	(38) 1 1 1 1 2 0 <u>21</u> 1 0 2	(39) 1 1 1 2 1 0 <u>22</u> 0 1 2	(40) 1 2 0 1 1 1 <u>22</u> 1 0 2	(41) 2 0 1 0 2 1 <u>23</u> 1 1 1	(42) 2 0 1 1 1 1 <u>24</u> 0 2 1
(43) 1 1 1 0 2 1 <u>24</u> 2 0 1	(44) 2 1 0 0 1 2 <u>24</u> 1 1 1	(45) 1 0 2 1 2 0 <u>26</u> 1 1 1	(46) 1 1 1 2 0 1 <u>28</u> 0 2 1	(47) 1 2 0 1 0 2 <u>28</u> 1 1 1	(48) 0 2 1 1 1 1 <u>30</u> 2 0 1
(49) 0 1 2 2 1 0 <u>30</u> 1 1 1	(50) 0 2 1 2 0 1 <u>31</u> 1 1 1	(51) 1 1 1 0 1 2 <u>32</u> 2 1 0	(52) 1 0 2 1 1 1 <u>32</u> 1 2 0	(53) 1 1 1 1 0 2 <u>33</u> 1 2 0	(54) 0 1 2 1 1 1 <u>35</u> 2 1 0
(55) 1 1 1 1 1 1 <u>27</u> 1 1 1	Links neben jedem Makrozustand sind die laufende Nummer und (unterstrichen) die Personenkilometer angegeben.				

Makrozustand lfd.Nr.	Anzahl der Mikrozustände je Makrozustand	Relative Entropie	Relative Entropie- differenz
1 - 6	1	0,500	1,000
7 - 24	9	0,693	0,614
25 - 36	27	0,790	0,421
37 - 54	54	0,860	0,280
55	216	1,000	0,000

mehrere solcher Mikrozustände führen zu ein und demselben Makrozustand. So entsprechen den möglichen Lösungen 3, 30 und 55 die in TA 1 angegebenen Mikrozustände.

Da jedoch diese vollständige Information nicht erreichbar ist, sind alle zu den Makrozuständen 3, 30, 31 und 55 gehörigen Mikrozustände gleich wahrscheinlich. Dies ist die Voraussetzung, unter der die nachfolgende Hypothese formuliert wird:

Die wahrscheinlichste Verkehrsverteilung wird durch jenen Makrozustand bestimmt, welcher die meisten Mikrozustände repräsentiert.

Im Beispiel hätte man demzufolge die VSM Nr. 55 als Lösung zu wählen. Nach Tab.1, Sp.1 repräsentiert sie 216 Mikrozustände, mit weitem Abstand die meisten vor 27 Mikrozuständen für die Nrn. 30, 31 und nur einen Mikrozustand für VSM Nr. 3. Es kann gezeigt werden [Wilson; 257, pp.20-22], daß es sich bei dem gewählten Makrozustand fast immer um einen im Sinne der Hypothese herausragenden handelt. Insofern ist diese Wahl gerechtfertigt. Denn bei fehlender Information ist sie die beste, die man unter der obigen Voraussetzung überhaupt treffen kann. Jede andere kann ja nur aufgrund von Zusatzinformationen gerechtfertigt werden.

Mit Nachdruck muß noch einmal auf die zwei völlig unterschiedlichen Vorgehensweisen hingewiesen werden, die hier und gegen Ende des Abschnittes 1.3.1 zur Bestimmung der VSM eingeschlagen wurden. Während dort aufgrund einer größeren Information sofort eine räumliche Verhaltenshypothese formuliert werden konnte, die die Verkehrsverteilung erklärte, ist dies hier nicht möglich. Der nach der Hypothese auszuwählende Makrozustand ist zwar durch eine Verhaltenshypothese eindeutig charakterisiert. Aber die Wahl ist nicht infolge einer Verhaltenshypothese getroffen worden; sie wurde vielmehr nur dadurch möglich, daß eine Annahme über nicht vorhandene Information gemacht wurde. Wenn in dieser Annahme alle, die Nebenbedingungen erfüllenden Mikrozustände als gleichwahrscheinlich vorausgesetzt werden, so hat man nur seine Unkenntnis über die nicht verfügbare Information maximiert. Und dieses Prinzip der Maximierung der Unkenntnis über die tatsächlichen Verhältnisse kommt ebenfalls in der Hypothese zum Ausdruck.

Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, das zur Hypothese gehörige Modell in seiner Wirkungsweise zu untersuchen. Erst die Charakterisierung des ausgewählten Makrozustandes kann Auskunft über die Prinzipien der räumlichen Verkehrsverteilung des Modells geben.

Die elegante Lösung der Aufgabe soll jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, daß aus geographischer Sicht einige Einschränkungen der Verkehrsverteilung vorgenommen wurden. Dies ist eine Folge der Übertragung der aus der Thermodynamik und Statistischen Mechanik stammenden Methode [vgl. Nash; 176] auf ein geographisches Problem. Drei Gesichtspunkte werden im folgenden erörtert.

Erstens: Es ist bei nochmaliger Betrachtung der Mikrozustände auffällig, daß beispielsweise bei VSM Nr. 3 nur ein einziger angegeben ist, wo doch ebenso wie bei VSM Nr. 55

$$(3!)^3 = 216 \text{ gleichberechtigte Möglichkeiten}$$

bestehen.

Zwei Beispiele davon, die sich von dem in TA 1 angegebenen Mikrozustand unterscheiden:

123 123 123								
1	x							
2	x							
3	x							
1							x	
2							x	
3							x	
1							x	
2							x	
3							x	

123 123 123								
1	x							
2		x						
3	x							
1							x	
2							x	
3							x	
1							x	
2							x	
3							x	

Diese Fälle werden jedoch nicht auseinandergehalten, weil die von einer beliebigen Quelle ausgehenden Fahrten über die gleichen Entfernungen erfolgen wie bei dem in TA 1 angegebenen Mikrozustand. Es ist wesentlich zu betonen, daß für alle folgenden Untersuchungen die einzelnen Personen-Fahrten (Güter-Tonnen) zwar unterscheidbar sind, die Ausgangs- und Endpunkte der Fahrten aber alle in den einmal gewählten Verkehrsschwerpunkten der Raumeinheiten liegen. Die Entfernungen (Kosten) zwischen diesen Punkten werden den Berechnungen zugrunde gelegt. Hier tritt das in 1.1 erwähnte Aggregationsproblem auf, weil die Entfernung als Raumgröße mit in die

Berechnung der Verkehrsverteilung eingeht.¹ Und im Rahmen dieses Aggregationsproblems wird in den nachfolgenden Untersuchungen aufzuzeigen versucht, welchen Einfluß das von den gewählten Verkehrsschwerpunkten gebildete Punktmuster auf die Wirkungsweise des Modells ausübt.

Zweitens: Die zur Lösung der Aufgabe vorgenommene Heranziehung der Distanz als einziger der drei Nystuen'schen Raumvariablen impliziert, daß Richtungsorientierung und relative Lage/Nachbarschaft in ihrem Einfluß gleichverteilt und ohne Bedeutung für die Verkehrsverteilung sind. In diesem Zusammenhang sei noch einmal an das in 1.1 aufgeführte Begriffssystem von Ullman erinnert. Während die Komplementarität zweier Verkehrsschwerpunkte unabhängig von ihrer relativen Lage im Gesamtraum festgestellt werden kann, ist der Begriff "intervening opportunity" unbedingt von der Lage der interagierenden Knoten abhängig.

Seien bspw. drei Verkehrsschwerpunkte A, B und C gegeben, wobei B und C zu A bezüglich einer strukturellen Eigenschaft (bzgl. eines Gutes) komplementär sein sollen. Dann ist B eine intervening opportunity für die Interaktion von A und C, falls B

- im engeren Sinn näher zu A liegt als C,
- im weiteren Sinn von den Entscheidungsträgern der Interaktion in A als näher gelegen angesehen wird.

In beiden Fällen kommt der relativen Lage von B im Gesamtraum eine ausschlaggebende Rolle zu.

Zweifellos wird beim 'intervening opportunity Modell' [Ruiter; 206] mehr Information vorausgesetzt, als nach 1.3.1 verfügbar ist, wenn die Senken gemäß der Präferenzen der in der Quelle ansässigen Bevölkerung gewichtet werden. Jedoch hat man bei Wilson's erweitertem Gravitationsmodell zunächst den Eindruck, daß Information verschenkt wird. Die relative Lage der betrachteten Raumeinheiten bzw. der gewählten Verkehrsschwerpunkte ist ja bekannt; ebenso sind es die Nachbarschaftsverhältnisse.

¹ In der Physik spielt das Aggregationsproblem überhaupt keine Rolle, da anstelle der Distanz das Energieniveau tritt, welches nicht räumlich fixiert ist [vgl. Nash; 176].

An diesem Punkt der Diskussion sollte wieder ein Blick auf die im Beispiel aufgeführten Makrozustände geworfen werden. Es treten nur solche auf, bei denen die Versand- und Empfangsmengen der Raumeinheiten mit den vorgegebenen übereinstimmen. Dies ist nicht so selbstverständlich. Betrachtet man gängige Lehrbücher durchaus neueren Datums¹, so wird bei Beschreibung des einfachen Gravitationsmodells (Analogie zu Newton) gewöhnlich ein Diagramm angegeben, in dem auf der x-Achse die Distanz und auf der y-Achse die Interaktionswahrscheinlichkeit abgetragen ist. Angestrebt wird die Darstellung der Regressionsgeraden, also des Ergebnisses der Einfachregression, die unter Auflösung des räumlichen Zusammenhangs der Verkehrszellen zwar einen Exponenten für das einfache Modell liefert, jedoch nicht die Information über Gesamtversand und -empfang der einzelnen Verkehrszellen reproduziert.

Gerade durch die Einhaltung der entsprechenden Nebenbedingungen im erweiterten Gravitationsmodell wird aber implizit erreicht, daß zumindest die relative Lage der Raumeinheiten Einfluß auf ihre modellhaft berechnete Verkehrsverteilung nimmt. Dies aufzuzeigen ist ein wichtiger Ansatz der Arbeit, auf den im 2. Kapitel näher eingegangen wird.

Drittens: In der Annahme über die Mikrozustände ist enthalten, daß ein Verkehrsfluß von Quelle i nach Senke j das beliebige Vielfache der Verkehrseinheit (Fahrt oder Tonne) betragen kann, sofern die Nebenbedingungen eingehalten werden. Bei Fahrten ist dies einsichtig. Sie repräsentieren jeweils eine Verkehrseinheit und können beliebig addiert werden. Anders bei Gütern. Betrachtet man bspw. die Produktpalette der später zu untersuchenden Elektroindustrie, so treten als Versandgüter Glühlampen von wenigen g Gewicht ebenso auf wie komplette Radiosendeanlagen oder Transformatoren, die mehrere Tonnen wiegen. Hier fragt es sich, ob das Modell angewandt werden kann. Wenn ja, wird implizit vorausgesetzt, daß bspw. eine solche Sendeanlage stückweise versandt werden kann.

¹ [Taaffe; 238, pp. 77-80], [Haggett; 101, p. 406], [Abler, Adams, Gould; 2, p. 137], [Yeates; 261, p. 56].

1.3.3 Erweitertes Gravitationsmodell

Die Anzahl W der zu einem Makrozustand τ gehörigen Mikrozustände bestimmt sich gemäß kombinatorischer Überlegungen zu:

$$(4) \quad W(\tau) = \frac{T!}{\prod_{i,j=1}^n T_{i,j}!} \quad \begin{array}{l} T := \text{Gesamtsumme des Verkehrs} \\ T_{i,j} := \text{Verkehrsmenge von } i \text{ nach } j \end{array}$$

Gemäß Hypothese ist für diese Funktion unter Einhaltung der Nebenbedingungen das Maximum zu suchen. Der entsprechende Makrozustand wird gegeben durch [Wilson; 256, p.5]

$$(5) \quad T_{i,j} = A_i B_j V_i E_j f(d_{i,j})$$

mit

$$(6) \quad A_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^n B_j E_j f(d_{i,j})} \quad \begin{array}{l} V_i := \text{Versand der Quelle } i \\ E_j := \text{Empfang der Senke } j \end{array}$$

$$(7) \quad B_j = \frac{1}{\sum_{i=1}^n A_i V_i f(d_{i,j})} \quad \begin{array}{l} A_i := \text{Ausgleichsfaktor, der Quelle } i \text{ zugeordnet} \\ B_j := \text{Ausgleichsfaktor, der Senke } j \text{ zugeordnet} \\ f(d_{i,j}) := \text{Funktion der Entfernung} \end{array}$$

Führt man zum Vergleich noch einmal das "einfache" Gravitationsmodell an, so ist die Ähnlichkeit unverkennbar:

$$(8) \quad T_{i,j} = K V_i E_j f(d_{i,j}). \quad K := \text{Proportionalitätsfaktor}$$

Es scheint lediglich die Konstante K durch das Produkt $A_i \cdot B_j$ ersetzt. Was bedeutet dies räumlich?

Hier mögen folgende zwei Umformungen der Beziehung (5) einen Hinweis geben.

$$(9) \quad T_{i,j} = \frac{1}{T} (A_i^* V_i) (B_j E_j) \cdot f(d_{i,j})$$

$$\text{mit } A_i^* = A_i T$$

$$(10) \quad T_{i,j} = \frac{1}{T} (V_i E_j) (A_i^* B_j f(d_{i,j}))$$

In (9) wird deutlich, daß die Ausgleichsfaktoren einen Einfluß auf die Versand- und Empfangsmengen ausüben. Je nach den Werten der A_i^* und B_j werden die Aufkommensmengen verkleinert oder vergrößert. Es fragt sich nun, wie die Werte der Ausgleichsfaktoren räumlich verteilt sind. Mehr noch: es ist von Wichtigkeit, ob und welche der Raumvariablen Distanz, relative Lage und Richtungsorientierung beeinflussend auf diese räumliche Verteilung gewirkt haben, was gleichbedeutend ist mit der Untersuchung des Einflusses des Punktmusters auf die Werte der Ausgleichsfaktoren.

Beziehung (10) spiegelt einen anderen Sachverhalt wider. War noch in 1.3.2 vermutet worden, daß durch die alleinige Wahl der Distanz als erklärende Raumvariable der Interaktion Information verschenkt wurde, so scheint sich durch die Hinzunahme des Produktes der Ausgleichsfaktoren $A_i^* B_j$ zur Entfernungsfunktion eine "Räumliche Widerstandsfunktion" $A_i^* B_j f(d_{i,j})$ zu ergeben. Dies ist in der Tat ein bemerkenswertes Ergebnis. Denn eine räumliche (2-dimensionale) Widerstandsfunktion für jede Quelle bedeutet die Möglichkeit, beispielsweise lagebedingte Präferenzen auszudrücken. Hier nähert man sich den Ullman'schen Vorstellungen von Interaktion.

Nach diesen Überlegungen erscheint es aus geographischer Sicht erforderlich, die Ausgleichsfaktoren in ihrer räumlichen Verteilung und deren Abhängigkeit vom Punktmuster zu untersuchen sowie ihnen eine "räumliche" Interpretation zu geben.¹ Erschwert werden diese Bemühungen durch die implizite Form der Darstellung der A, B. Sie sind sowohl gegenseitig als auch von der Entfernungsfunktion abhängig und werden deshalb gewöhnlich mit Hilfe eines Iterationsverfahrens bestimmt.

¹ Zur Interpretation der Ausgleichsfaktoren vergleiche man auch [Kirby; 141], [Cesario; 50], [Wilson; 255, 256, 257].

Abhängigkeit zwischen Ausgleichsfaktoren und
Exponent der Entfernungsfunktion

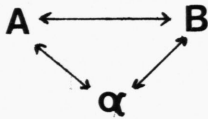


Abb. 1

Offen bleibt noch die Form der Entfernungsfunktion $f(d_{i,j})$, die üblicherweise als "Widerstandsfunktion" bezeichnet wird. Dieser Begriff soll im weiteren Verlauf der Untersuchung für den Ausdruck $A_i^* B_j f(d_{i,j})$ reserviert bleiben.

Wilson ermittelt als Typ der Entfernungsfunktion die Exponentialfunktion:

$$(11) \quad f(d_{i,j}) = e^{-\alpha d_{i,j}}.$$

Man erhält demzufolge die von der Modellhypothese abgeleitete Verhaltenshypothese, daß

1. die Interaktionsbereitschaft bei

{	$\alpha > 0$ mit wachsender Entfernung zur Quelle abnimmt $\alpha = 0$ nicht entfernungsabhängig ist $\alpha < 0$ mit wachsender Entfernung zur Quelle zunimmt
---	--
2. der Reiseaufwand (gemessen in km, Kosten etc.) so von der Bevölkerung (den Versendern) erfahren wird, wie er gemessen wird.

Das heißt: hat man alternativ Ziele anzusteuern, die 0 oder 30 km bzw. 1000 oder 1030 km von der Quelle entfernt sind, so werden die Kosten, die die 30 km Mehraufwand zum jeweils entferneren Ziel verursachen, als gleich angesehen. Wilson [256, p.8/9] weist darauf hin, daß statt dieses Verhaltens auch angenommen werden kann, daß der Aufwand zwischen 0 und 30 km größer erachtet wird als jener zwischen 1000 und 1030 km. Unterstellt man letzteres Verhalten, ergibt sich z.B. für eine logarithmische Perzeption des Aufwands:

$$(12) \quad f(d_{i,j}) = e^{-\alpha \log d_{i,j}} = d_{i,j}^{-\alpha}.$$

Diese Form der Entfernungsfunktion wird allen weiteren Berechnungen zugrunde gelegt, weil sie bislang am häufigsten Verwendung findet, womit die theoretischen Ergebnisse dieser Untersuchung auf eine Fülle von Arbeiten anwendbar erscheinen. Es darf jedoch darauf hingewiesen werden, daß sie ebenso für die Exponentialfunktion gültig sind, da bei den nachfolgend durchgeführten Überlegungen nur die allgemeine Form der Entfernungsfunktion eingeht, nicht der spezielle Funktionstyp (vgl. auch [Black; 29]).

Besonderes Interesse wurde von jeher dem Wert des Exponenten α entgegengebracht. Wovon ist er abhängig? Geht man noch einmal auf ein einfaches Verteilungsmodell zurück, welches ebenfalls mit Hilfe der Entropie-Maximierungsmethode unter Auslassung der Nebenbedingungen (1), (2) gewonnen werden kann [*, M 6.1], dann läßt sich folgendes aussagen:

Für $f(d_{i,j}) = e^{-\alpha d_{ij}}$ ist α gegeben durch

$$(13) \quad \alpha = \log\left(1 + \frac{T}{C}\right), \text{ wobei } \begin{array}{l} C := \text{Gesamtaufwand im System} \\ T := \text{Gesamtsumme des Verkehrs} \\ \frac{C}{T} = \text{Durchschnittsaufwand im Gesamtsystem} \end{array}$$

α hängt also nicht von Stärke und Transferabilität von Einzelinteraktionen, auch nicht von lokalen strukturellen Besonderheiten ab, sondern von zwei Größen des Gesamtsystems. Es ist dabei hinzuweisen, daß die Wahl der Verkehrsschwerpunkte, also das Punktmuster, wesentlich den Gesamtaufwand im System beeinflußt, da dieser ja direkt oder indirekt von den Entfernungen zwischen den einzelnen Verkehrsschwerpunkten abhängig ist.

Aus Beziehung (13) folgt:

Erhöht sich der Durchschnittsaufwand pro Verkehrsmengeneinheit, so erniedrigt sich α .

Erniedrigt sich der Durchschnittsaufwand pro Verkehrsmengeneinheit, so erhöht sich α .

Soweit dieses einfachste Verteilungsmodell. Kehrt man zur Wilson'schen Erweiterung desselben zurück und beachtet Abb. 1, wird man auf eine zusätzliche gegenseitige Abhängigkeit zwischen dem Exponenten α der Entfernungsfunktion und den Ausgleichsfaktoren hingewiesen. Sollte es sich bewahrheiten, daß in die Berechnung der Ausgleichsfaktoren Informationen über die relative Lage der Quellen und Senken eingehen, verstärkt sich durch diese Abhängigkeit der Einfluß des Punktmusters auf α . Hier ist ein Punkt erreicht, an dem sich eine lebhaft Diskussions unter Geographen entzündet hat (vgl. [Curry; 63, 65, 66], [Johnston; 129, 130], [Cliff et al.; 59, 60, 61]).

Curry ist der Auffassung, daß "the non-zero exponent on distance has nothing to do with friction and everything to do with the map pattern." [63, p.132]. Um diese Kritik am Modell zu beurteilen, wird man nicht umhin können, sich Gedanken über den Begriff 'friction' zu machen. Bevor aber auf die Argumentation Curry's in 1.4 eingegangen wird, soll noch einmal das vollständige erweiterte Gravitationsmodell in der von Minshull geforderten Form dargestellt werden, wie es z.Zt. in der Literatur angegeben ist. Hinzugefügt werden einige Ansatzpunkte für die Modelluntersuchung unter besonderer Berücksichtigung des Raumes.

Erweitertes Gravitationsmodell

Einige Ansatzpunkte räumlicher Betrachtung

1. Struktur und Elemente

Gegeben ist ein Untersuchungsgebiet, in n Raumeinheiten (VB) unterteilt. Für jede dieser Raumeinheiten wird ein Verkehrsschwerpunkt bestimmt, welcher als Quelle und Senke auftreten kann. Der Versand jeder Quelle bzw. der Empfang jeder Senke im Beobachtungszeitraum ist bekannt, ebenso der Gesamtaufwand für den abgewickelten Verkehr.

Gesucht ist die beste Beschreibung und Erklärung der tatsächlichen Verkehrsverteilung unter Verwendung von Raumvariablen.

Elemente

n Verkehrsschwerpunkte als
Quellen mit Versand

V_1, \dots, V_n

als Senken mit Empfang

E_1, \dots, E_n

Entfernung zwischen den einzelnen
Quellen und Senken

Gesamtaufwand für den Verkehr

Verkehrsflüsse zwischen den
einzelnen Quellen und Senken

Struktur

relative Lage, Nachbarschafts-
verhältnisse

Variation der Punktdichte des
aus den n Verkehrsschwerpunkten
gebildeten Punktmusters

Eigenschaften der Entfernungsmatrix
für das Gesamtsystem

Annahme gleicher Verkehrsmengen-
einheiten im Gesamttraum

Gibt es für die Einteilung des Raumes
Optimierungskriterien?

(vgl. hierzu [Openshaw; 190])

Geht die relative Lage der Verkehrs-
schwerpunkte in das Modell ein?

Wie hängen die Eigenschaften der Ent-
fernungsmatrix vom Punktmuster ab?

2. Modellhypothese(i) Verknüpfung der Elemente

Jeder in einer Quelle aufkommenden Verkehrsmengeneinheit wird eine Senke zugeordnet, wobei zu beachten ist, daß die Nebenbedingungen eingehalten werden. Diese vollständige Beschreibung der Verkehrsverteilung wird Mikrozustand genannt.

Addiert man für einen Mikrozustand alle von einer Quelle nach einer Senke versandten Verkehrsmengeneinheiten, erhält man den gesamten Verkehrsfluß von besagter Quelle zur Senke. Durch Angabe aller Verkehrsflüsse im System wird der dem Mikrozustand übergeordnete Makrozustand - die Verkehrsstrommatrix - beschrieben.

In der Regel führen mehrere Mikrozustände zu einem Makrozustand, wobei zwei Mikrozustände nur dann als verschieden angesehen werden, wenn von irgendeiner Quelle Zuordnungen von Verkehrsmengeneinheiten über mindestens zwei verschiedene Entfernungen gemacht werden.

(ii) Modellvoraussetzungen

Alle die Nebenbedingungen erfüllenden Mikrozustände sind gleich wahrscheinlich. Ein Verkehrsfluß kann das beliebige Vielfache der Verkehrsmengeneinheit betragen, sofern die Nebenbedingungen eingehalten werden.

(iii) Modellhypothese

Derjenige Makrozustand ist der wahrscheinlichste, welcher die meisten Mikrozustände repräsentiert. Äquivalent hiermit ist die Hypothese, daß die Unkenntnis über die Verkehrsverteilung unter den gegebenen Nebenbedingungen maximiert wird (Entropie-Maximierungsmethode).

(iv) Test der Hypothese

Zur Testtheorie kann auf Karlqvist/Marksjö [133] verwiesen werden. Um zu entscheiden, ob eine modellhaft berechnete VSM im Anwendungsfall als Norm dienen kann, vergleiche man 2.1.

Welche räumlich differenzierte Struktur weist dieser wahrscheinlichste Makrozustand auf?
Welche räumliche Verteilung weisen die Entropien der Einzelversandverteilungen auf?

3. Aus der Hypothese abgeleitete operationale Verknüpfung der Elemente

$$(i) \quad \text{Maximiere } W(\tau) = \frac{T!}{n \prod_{i,j=1} T_{ij}!}$$

unter den Nebenbedingungen

$$\sum_{j=1}^n T_{i,j} = V_i$$

$$\sum_{i=1}^n T_{i,j} = E_j$$

$$\sum_{i,j=1}^n T_{i,j} d_{i,j} = C$$

(ii) Der so bestimmte Makrozustand ist gegeben durch

$$T_{ij} = A_i B_j V_i E_j e^{-\alpha d_{ij}}$$

$$\text{mit } A_i = \frac{1}{\sum_{j=1}^n B_j E_j e^{-\alpha d_{ij}}}$$

$$B_j = \frac{1}{\sum_{i=1}^n A_i V_i e^{-\alpha d_{ij}}}$$

Läßt sich eine räumliche Interpretation der Ausgleichsfaktoren finden?

Welche Abhängigkeiten bestehen zwischen der räumlichen Verteilung ihrer Werte und dem Punktmuster? Wie wirkt sich diese Verteilung auf die Verkehrsverteilung aus?

Ist die Annahme einer räumlichen Widerstandsfunktion ein Hindernis für die Typisierung der Einzelver-sandverteilungen? Sollte man statt dessen das 'friction'-Konzept anwenden?

- (iii) Die aus der Modellhypothese abgeleitete Verhaltenshypothese besagt:

Die Einzelverteilung der Quellen ordnet sich dem Zustand maximaler Entropie des Gesamtsystems bei Einhaltung der Nebenbedingungen unter. Dabei erweist sich die Entfernungsfunktion von exponentiellem Typ, falls der Aufwand zur Überwindung von Entfernungsstufen unabhängig von der Mindestreiseentfernung erfahren wird. Im weiteren Verlauf wird jedoch eine logarithmische Aufwandsperzeption im Gesamtsystem unterstellt.

Läßt sich ein räumlich differenziertes Verhalten der Quellen in ihren Versandverkehrsverteilungen in Abhängigkeit ihrer relativen Lage feststellen?

Wird die Verkehrsverteilung einer Quelle durch jene ihrer Nachbarn beeinflusst, da ein übergeordneter Gesamtzustand erzielt werden muß?

Ist die Entropie der Versandverkehrsverteilung einer Quelle auch von der Größe ihres Gesamtversands abhängig?

1.4 MODELL UND RAUM

Die im letzten Abschnitt aufgeführten Ansatzpunkte zielten allesamt darauf ab, Modellhypothese, Wirkungsweise und Parameter des Modells noch besser an den Raum anzubinden. Nun muß man sich die Frage gefallen lassen, ob ein geographisches Modell immer einen expliziten und umfassenden Raumbezug haben sollte. Minshull [173, p.148/149] führt eine ganze Reihe von Beispielen an, unter ihnen die 'rank-size rule' oder 'Studien zur Landschaft', in denen räumliche Elemente fehlen oder - wie bei letzteren - die zeitlichen Veränderungen im Vordergrund stehen. Eine zu enge Raumanbindung kann ja letztlich die Übertragbarkeit der Modellergebnisse gefährden.

Genau an diesem Punkt setzt Curry [63] mit seiner Kritik - zunächst am einfachen Gravitationsmodell - an. Wenn auch nicht explizit ausgedrückt, so kann doch aus dem Textzusammenhang angenommen werden, daß er 'friction of distance' mit 'transferability' gleichsetzt (vgl. [Abler, Adams, Gould; 2, p.194]). Das würde bedeuten, daß die Entfernungsfunktion die Abschwächung der Interaktionsintensität in Abhängigkeit von der Entfernung, jedoch unabhängig von der relativen Lage einer Quelle innerhalb des Punktmusters bzw. unabhängig von der Wahl des Punktmusters ausdrückt. Damit wäre die 'friction' rauminvariant und der Exponent α als Parameter der Entfernungsfunktion typisch für einen Reisezweck oder ein Gut. Curry versucht nun nachzuweisen, daß es im Gravitationsmodell keine rauminvarianten Parameter geben kann. Die Verquickung von Punktmuster und 'friction' sei so groß, daß die berechneten Modellparameter lediglich für den Untersuchungsraum und nur für das benutzte Punktmuster gültig seien. "Only where friction is given a priori as in the pure Newtonian analogy or where freight rates are fed in as the coefficient can the individual terms of the gravity model be trusted." [63, p.132]. Diese Auffassung von 'friction' soll hier zunächst unter Heranziehung der Arbeit von Johnston [129] in ihren Folgerungen überdacht werden. Eine vertiefte Beschäftigung mit den Gedanken von Johnston und Curry erfolgt in Kapitel 2.

Zweifellos muß betont werden, daß relative Lage/Nachbarschaft und Distanz nicht allein in der Lage sind, sämtliche rationalen und irrationalen menschlichen Entscheidungen zu erklären, die zu einer bestimmten Verkehrsverteilung führen. Aber zieht man sich auf die eingangs erwähnte Informationsmenge zurück, so scheint es zunächst legitim, diese und nur diese Raumgrößen zur Erklärung heranzuziehen. Man wird dann nach den oben angeführten Überlegungen erwarten können, daß die Versandverteilung einer Quelle auch von derjenigen aller anderen Quellen im System abhängig sein wird. Im Modell ist zwar eine Entfernungsfunktion für das Gesamtsystem vorgegeben, die jeweilige Widerstandsfunktion wird sich aber für jede Quelle aus ihrer relativen Lage und den Verhältnissen im Gesamtsystem bestimmen.

Interessanterweise lassen sich auch Übertragungen in die Realität vornehmen. So kann zum Beispiel der Preis für ein Produkt ab Werk fixiert sein; am Verbraucherort erhöht er sich um die Transportkosten. Jedoch ist es möglich, daß dieser Preis infolge des Ausmaßes örtlicher Konkurrenz zusätzlich angehoben oder gesenkt wird. [Abler, Adams, Gould; 2, p.198].

Curry übersieht diese Zusammenhänge bzw. bringt sie nicht mit dem Auftreten der Ausgleichsfaktoren in Beziehung. Vielmehr steht er der Einführung der Ausgleichsfaktoren im erweiterten Gravitationsmodell skeptisch gegenüber, ja lehnt sie ab. Dies ist wohl mit beeinflußt durch die implizite Darstellung der A,B im Modell sowie deren schwierige Berechnung, die er heftig angreift. "Thus all the difficult and interesting questions raised by the geography of the area are loaded on a suspect calibration procedure." [63, p. 135].

Damit ergibt sich die Aufgabe, eine explizite Darstellung der Ausgleichsfaktoren anzugeben, in der die Einflüsse der relativen Lage deutlich werden. Des weiteren wird zu zeigen sein, daß die Ausgleichsfaktoren zusammen mit der Entfernungsfunktion eine regional differenzierte Widerstandsfunktion bilden. Dies wirft aber die von Curry angeschnittene Frage der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf.

Es werden drei Wege beschritten, um Vergleiche von Modellanwendungen verschiedener Gebiete oder Punktmuster zu gestatten.

1. Vorschlag:

Raumunabhängige Ergebnisse bei Modellanwendung zu erzielen, bedeutet zunächst einmal, überhaupt keine Raumvariablen in die Berechnungen eingehen zu lassen. Jedoch soll die vorhandene Information, soweit sie die Aufkommensmengen betrifft, in die Überlegungen eingehen. Ebenso bietet sich an, das Prinzip der Entropiemaximierung bei Aufstellung der Verkehrsverteilung beizubehalten. Eine Verkehrstrommatrix, die diese Eigenschaften besitzt, könnte als Bezugsbasis für die mit Hilfe des erweiterten Modells berechnete Verkehrsverteilung dienen. Die so gewonnenen relativen Werte lassen einen Vergleich der modellhaft berechneten Verkehrsverteilungen einzelner Quellen wie auch von charakteristischen Quellen verschiedener Untersuchungsgebiete zu.

Eine solche rauminvariante VSM, die fast alle Nebenbedingungen erfüllt, wird in Kapitel 2 eingeführt, und die mit ihrer Hilfe gewonnenen relativen Werte der modellmäßig berechneten VSM werden für weitere Untersuchungen der Eigenschaften des Konkurrenzmodells herangezogen.

2. Vorschlag:

Hat man Kenntnisse über Art und Stärke des Einflusses eines beliebigen Punktmusters auf die Modellparameter, so erscheint es sinnvoll, ein solches Punktmuster auszuwählen, welches den geringsten Einfluß ausübt. Dies macht bei Anwendung des Modells in der Praxis gewisse Transformationen (Verzerrungen) nötig. Dabei ist auf die Beibehaltung der Nachbarschaftsverhältnisse zu achten.

Modellergebnisse, die jeweils unter Verwendung solcher "idealen" Punktmuster gewonnen wurden, scheinen vergleichbar zu sein. Freilich muß man sich den Vorwurf gefallen lassen, die eine von zwei erklärenden Raumvariablen zu verändern.

3. Vorschlag:

In den vorangegangenen Vorschlägen wurde zuerst der Raum ganz ausgeschaltet, um eine Bezugsbasis zu erhalten. Dann wurde der Raum beibehalten, jedoch idealisiert unter Wahrung der Nachbarschaften und Lageverhältnisse. Hier nun wird der Gesamtraum belassen. Viel-

mehr wird durch Hinzufügen von Information versucht, ein die Raumbeeinflussung und das Versenderverhalten charakterisierendes Muster zu gewinnen.

Wenn man einen bestimmten Typ der Entfernungsfunktion für das Gesamtsystem ansetzt, wird man im allgemeinen nur geringfügig durch die Ausgleichsfaktoren modifizierte, regionale Widerstandsfunktionen erhalten. Das heißt, man gibt mehr oder weniger jeder Quelle im Gesamtsystem eine Versandstrategie vor. Nun ist es aber wahrscheinlich, daß im Gesamtsystem jede Quelle ihre eigene Versandstrategie verfolgt. So ist zum Beispiel bekannt, daß randlich gelegene Betriebe einer Industriebranche sehr oft zu Spezialisierungen gezwungen sind, um gewisse Lagenachteile durch andere Lagevorteile auszugleichen. Während die allgemeine Strategie im Zentrum darauf ausgerichtet ist, vornehmlich den Markt in unmittelbarer Nähe zu beliefern, ansonsten die Lieferbeziehungen zum Rand hin schwächer werden, könnte ein randlich gelegener Betrieb gerade eine "umgekehrte" Strategie wählen, die darauf abzielt, bei der Preisbildung die Transportkosten zu vernachlässigen, um sich einen ähnlich großen Markt wie die zentral gelegenen Betriebe zu sichern. Gibt man bspw. die Entfernungsfunktion $f(d_{ij}) = d_{ij}^{-\alpha}$ vor, so entspräche dem Versenderverhalten der zentralen Quelle ein größeres α als jenem der randlichen Quelle, wobei noch die Einflüsse der relativen Lage zu berücksichtigen sind.

Hat man nun zusätzliche Information, die es gestattet, jeder Quelle ihren Strategietyp zuzuordnen, so böte es sich an, die Verteilung der Strategien als das charakteristische Muster des Versandverhaltens zu betrachten. Freilich braucht man wieder eine Bezugsbasis. Denn ein Betrieb im Zentrum, der ebenfalls die Transportkosten vernachlässigt, hat wiederum aufgrund seiner Lage ein anderes " α " als jener randliche Betrieb. Hier könnte versucht werden, die jeder Quelle zugeordnete regionale Widerstandsfunktion unter variabler Strategieannahme mit derjenigen, die ihr unter "konstanter" Strategieannahme zugeordnet wird, zu vergleichen. Darüber hinaus ist zu fragen, ob nicht doch dem Johnston'schen rauminvarianten 'trade-vector' ein Verteilungsmuster im jeweiligen Relativraum der Quelle gegenübergestellt werden kann. Entsprechende Überlegungen werden in 4.3.4 angestellt.

Wenn auch das Problem der Übertragbarkeit noch nicht vollends gelöst scheint, ist seine Bewältigung allein durch die Beibehaltung des Raumbezuges bzw. der Aufgabe des 'friction'-Konzepts nicht unmöglich gemacht.

1.5 ZIELE UND AUFBAU DER ARBEIT

In den vorausgegangenen Abschnitten wurde aufzuzeigen versucht, daß die Wilson'sche Übertragung der Entropie-Maximierungsmethode aus der Quantenmechanik/Thermodynamik in die Verkehrsgeographie zwar mathematisch einwandfrei erfolgte, jedoch aus geographischer Sicht noch nicht voll ausdiskutiert erscheint. Hierfür können verantwortlich gemacht werden:

- (i) die ohne expliziten Raumbezug formulierte Modellhypothese (einschließlich Nebenbedingungen) mit globaler, nicht regionaler Entropiemaximierung
- (ii) die schwierige Berechnung der Ausgleichfaktoren, die zudem ohne "räumliche" Begründung blieben
- (iii) der Versuch von geographischer Seite, mit Hilfe des 'friction-Konzepts' den Raumeinfluß auf die modellhaft berechnete Verkehrsverteilung teilweise auszuschließen.

Übergeordnetes Ziel dieser Arbeit ist es, einige der räumlichen Hypothesen und Annahmen darzustellen, welche implizit mit der Modellanwendung verbunden sind. Gekoppelt mit dieser Aufgabe ist die Bearbeitung des Aggregationsproblems, jedoch beschränkt auf die Darstellung des Einflusses der Auswahl der Verkehrsschwerpunkte auf die Modellergebnisse. Im einzelnen ergeben sich folgende Teilziele:

Hilfsmittel für Vergleichbarkeit der Verkehrsverteilung einzelner Quellen

Raumunabhängige Bezugsbasis, Bestimmtheitsmaß für die Modellapproximation, Testschranke für die Anwendung des Modells als Norm

Regionale Entropie der Verkehrsverteilung einer Quelle/
Senke, räumliche Streuungsmaße

Entfernungsmatrizen im Absolut- und Relativraum

Folgerungen aus der Modellhypothese

"Räumliche" Begründung, Form und Verteilung der Aus-
gleichsfaktoren

Räumliche Widerstandsfunktion

Einfluß von Größe und räumlicher Verteilung der Auf-
kommensmengen auf die regionale Entropie der Verkehrs-
verteilung

Systemhafter Zusammenhang der Einzel-Verkehrsver-
teilungen im Modell

Auswirkungen des Aggregationsproblems

Einfluß des Punktmusters auf Modellparameter

Auswahl "idealer" Punktmuster

Modellerweiterung

Variable Strategienwahl durch Regionalisierung
der Information über den Aufwand

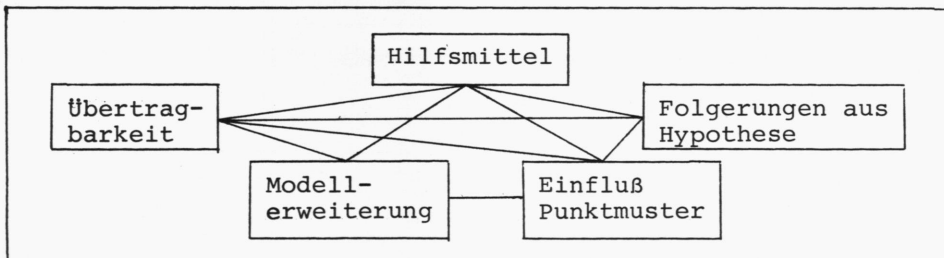
Übertragbarkeit der Ergebnisse einer Modellanwendung

Entwicklung von Konzepten, die es gestatten, trotz
raumabhängiger, lokal-differenzierter Verkehrsver-
teilung der Quellen die berechneten Verteilungs-
muster untereinander und mit anderen Modellanwen-
dungen zu vergleichen

Die wichtigsten Beziehungen der einzelnen Teilziele zueinander
zeigt Abb. 2.

Verknüpfung der einzelnen Teilziele

Abb. 2



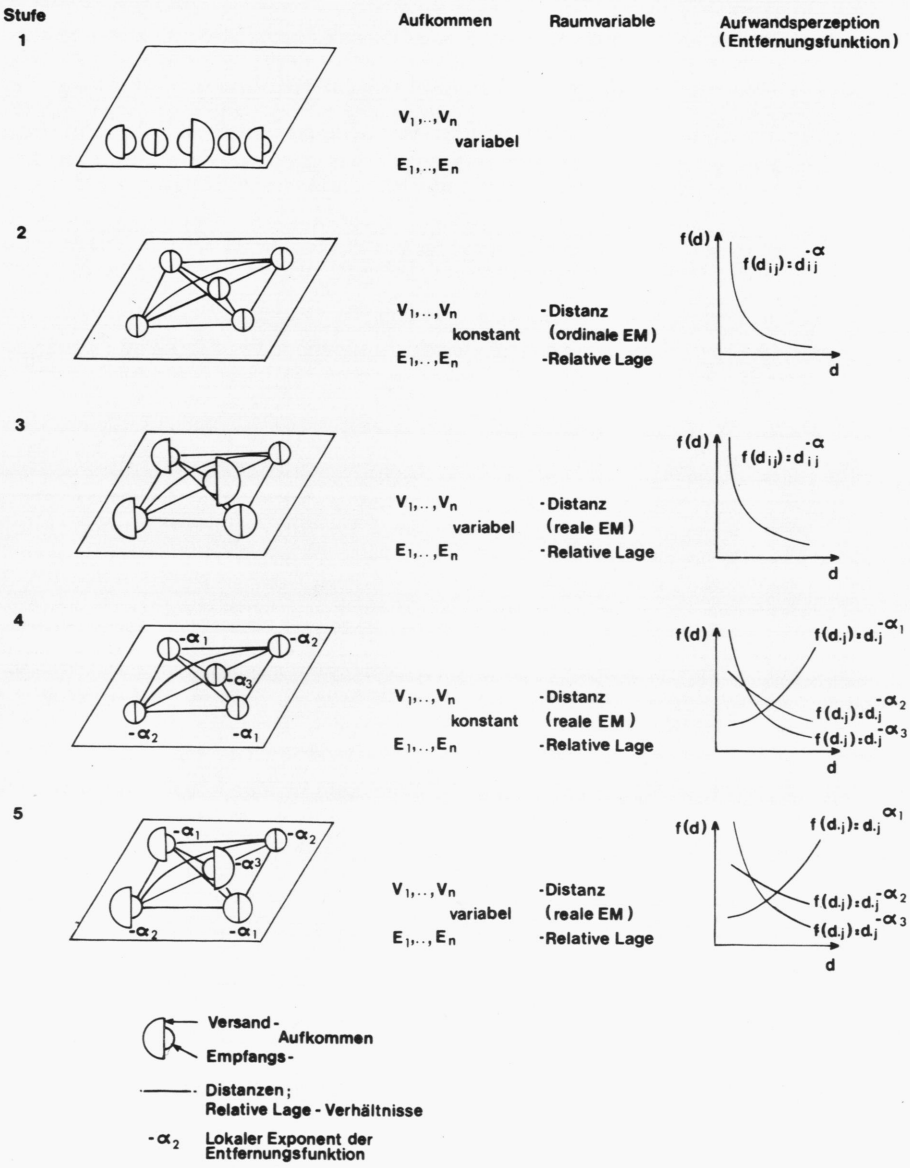
Die schon erwähnte und herausgestellte Eigenschaft eines Modells, einen durchdenkbaren Zusammenhang zwischen Untersuchungsobjekten zu beinhalten, gibt die Möglichkeit, im Verlauf der Untersuchungen den Raum sukzessive zu strukturieren (vgl. Abb. 3). Allen Stufen gemeinsam ist die Beibehaltung des Prinzips der Entropiemaximierung unter weitgehender Einhaltung der Nebenbedingungen. Da es sich um ein vollständiges Modell handelt, können auf jeder Stufe der Strukturierung Modellrechnungen ausgeführt werden mit dem Ziel, nur eine Größe zu verändern, alle anderen konstant zu lassen.

In der ersten Stufe wird von der räumlichen Lage der Verkehrsschwerpunkte vollkommen abgesehen. Die mit Hilfe der Entropiemaximierungsmethode gewonnene VSM hat den Vorteil, rauminvariant zu sein und kann allen späteren Berechnungen als Bezugsbasis dienen.

Die zweite Stufe stellt den Vorgang der Einbeziehung des Raumes in das Modell dar, wobei angenommen wird, daß die Aufkommensmengen im Raum gleichverteilt sind. Die Stufe ist in der Wilson'schen Herleitung und in der anschließenden geographischen Diskussion m.E. nicht in dem Maße berücksichtigt worden, wie es ihrer Bedeutung für eine Raumwissenschaft eigentlich entspräche. Auf dieser Beschreibungsebene werden erstmals Folgerungen aus der Modellhypothese zu ziehen sein und es werden Auswirkungen des Aggregationsproblems sichtbar. Das räumliche Konkurrenzmodell ist zu formulieren und in seiner Wirkungsweise zu untersuchen.

Für eine Überprüfung der theoretischen Ansätze erweist sich die Annahme der räumlichen Gleichverteilung der Aufkommensmengen als hinderlich. Jedoch gestattet es das Furness'sche Iterationsverfahren [Evans; 74], jede reale Verkehrsstrommatrix so umzuformen, daß sie den Randbedingungen der Stufe 2 entspricht. Da hierbei die innere Struktur der realen Verkehrsverteilung verändert wird, konzentriert sich die Überprüfung der Ansätze auf den Übergang von ideellem zu realem Punktmuster. Das Modell wird hierbei auf den Wagenladungsverkehr mit elektrotechnischen Gütern der süddeutschen VB im Jahre 1972 angewandt (vgl. Kap. 3).

Abb. 3 Modellentwicklung in fünf Stufen der sukzessiven Strukturierung des Raumes



In der dritten Stufe wird die vereinfachende Annahme der Gleichverteilung der Aufkommensmengen aufgehoben, was Anlaß gibt, den Einfluß der räumlichen Verteilung der Aufkommensmengen auf die Modellergebnisse zu untersuchen. Damit wäre der Stand des erweiterten Wilson'schen Modells in dem Spezialfall des räumlichen Konkurrenzmodells erreicht.

Nachfolgend wird ein Ausbau des Konzepts der räumlichen Konkurrenz angestrebt, der in zwei Etappen, den Stufen 4 und 5, vollzogen wird. Auch hier steht wieder die Behandlung der Aufgabe im Vordergrund, die räumliche Wirkungsweise des erweiterten Konkurrenzmodells zu betrachten und mit den schon früher gewonnenen Ergebnissen zu vergleichen.

Im letzten Kapitel dieser Arbeit wird noch einmal eine Überprüfung der Untersuchungsergebnisse am realen Beispiel des Elektroverkehrs innerhalb Süddeutschlands angestrebt. Diese Überprüfung geschieht anhand zweier Punktmuster auf den Stufen 3, 5 und einer nochmaligen Modellerweiterung, wobei eine Verknüpfung der Ergebnisse für einen weiteren Vorschlag zur Lösung des Problems der Übertragbarkeit benutzt wird.

Zu den Kapiteln 3 und 5, die eine Anwendung der jeweils zuvor gewonnenen Ergebnisse beinhalten, erscheint folgende Bemerkung wichtig. In diesen Kapiteln werden einige zusätzliche Informationen über Standorte, Produktionsstruktur sowie Absatzbeziehungen der süddeutschen Elektroindustrie gegeben. Diese sollen aber nur zur Beurteilung der Modellergebnisse dienen. Sie können nicht, wie es vielfach geschieht, zu deren Rechtfertigung herangezogen werden. Insofern muß auf strikte Trennung der verschiedenen Informationsmengen geachtet werden.

Wie oben schon angedeutet, werden die Beiträge zur Theorieerweiterung an Einzelfällen gewonnen. Dies ist aus mathematischer Sicht unbefriedigend, weil in dieser Wissenschaft nur das Allgemeingültige, die übergeordnete Form im Mittelpunkt der Betrachtung steht. Anders in der Geographie. Alle betrachteten Ausschnitte der Erdoberfläche sind einzig und zunächst nicht vergleichbar. Das Modell hilft nun, indem für eine Auswahl von Objekten allgemeine

Prinzipien über ihren Zusammenhang hypothetisiert werden. Mit der Modellanwendung wird vom Speziellen Übertragbares losgelöst und dies kann mit anderen, ähnlich gewonnenen Ergebnissen verglichen werden. Freilich ist die Behandlung des individuellen Raumes solange nicht vollständig, wie nicht auch die verbliebenen Besonderheiten diskutiert werden, was in manchen Fällen mit einer Residualkartenanalyse bewerkstelligt werden kann.

Es lassen sich also mit der geographischen Behandlung nicht ganz parallel laufende Interessen für eine mathematische Bearbeitung der aufgeworfenen Probleme feststellen. Damit bietet sich als Kompromiß an, die mathematischen Grundlagen der Untersuchungen in den Anhang zu verlegen. Freilich führen sie dort kein Eigenleben. Denn vieles, was sich in knappe mathematische Formulierungen kleiden ließe, wird - jetzt allerdings für den Spezialfall und damit m.E. zu Recht - verbal ausführlich beschrieben. Die unmittelbare Koppelung des entsprechenden Anhangs mit dem Text wird im Text durch [* , lfd.Nr.] sichtbar gemacht, wobei sich die lfd.Nr. auf die Zählung im Anhang bezieht. Umgekehrt wird im Anhang auf die entsprechende Seitenzahl im Text verwiesen.

Die im Text verwandten Begriffe sollten weitgehend eindeutig sein. Hierzu schien es erforderlich, einige von ihnen zu definieren, z.T. auch mit Hilfe mathematischer Beziehungen. Eine Liste der Definitionen findet sich auf den Seiten xxiv-xxix. Es wurde versucht, den Begriffen nur diesen Inhalt zuzuweisen und auf den übermäßigen Gebrauch von Synonyma zu verzichten, was unter Umständen nur auf Kosten von Wiederholungen zu erreichen war.

In den vorangegangenen Abschnitten wurde immer wieder eine Diskussion mit der neuesten geographischen Literatur zum erweiterten Gravitationsmodell und zur Entropie-Maximierungsmethode angestrebt. Diese Literatur macht bislang nur einen Bruchteil aller mit dem Gravitationsmodell befaßten Arbeiten aus. Um sie klar herauszuheben, wird sie zusammen mit ausgewählten anderen Spezialarbeiten am Ende eines jeden Kapitels unter der Bezeichnung "Kernliteratur" angegeben.

KERNLITERATUR KAPITEL 1

- Curry, L.: A spatial analysis of gravity flows. In: Regional Studies 6 (1972), pp. 131-147.
- Johnston, R.J.: On frictions of distance and regression coefficients. In: Area 5 (1973), pp. 187-191.
- Minshull, R.: An introduction to models in geography. London, New York 1975.
- Nystuen, J.D.: Zur Bestimmung einiger fundamentaler Raumbegriffe. Aus: Bartels, D. (Hrsg.): Wirtschafts- und Sozialgeographie. Köln, Berlin 1970 (Neue Wissenschaftliche Bibliothek 35), pp. 85-94.
- Ullman, E.L.: Geography as spatial interaction. Aus: Hurst, E. (Hrsg.): Transportation Geography. Comments and readings. New York 1974, pp. 29-40.
- Wilson, A.G.: Entropy in urban and regional modelling. London 1970.

2. AUFSTELLUNG UND ERSTE UNTERSUCHUNG DES RÄUMLICHEN KONKURRENZMODELLS

Das aufzustellende Konkurrenzmodell ist ein Spezialfall des erweiterten Wilson'schen Gravitationsmodells. Die Spezialisierung wird durch die Begründung und Festlegung der Ausgleichsfaktoren A, B bedingt. Im Mittelpunkt der Untersuchung dieses Modells werden die räumliche Verteilung der A, B, ihre Auswirkungen auf die vom Modell gelieferte Verkehrsverteilung sowie Einflüsse der verwendeten Punktmuster auf die A, B stehen. Alle hierfür erforderlichen (Modell-) Berechnungen werden unter Vorgabe einer festen Entfernungsfunktion mit dem Exponenten $\alpha = 1.0$ durchgeführt. Die Einordnung der Modellrechnung in die möglichen Anwendungsbereiche ist in Abb. 4 angegeben.

Anwendungsbereiche des erweiterten Gravitationsmodells, Abb. 4.

Vorgabe	Modellrechnung	Approximation der Realität	
	Untersuchung der Wirkungsweise	Norm für eine bekannte Verkehrsverteilung	Schätzung einer unbekannten Verkehrsverteilung
V	x	x	x
E	x	x	x
d	x	x	x
C	?	x	x
α	x	?	?
A	?	?	?
B	?	?	?

x: gegeben
?: gesucht

Alle in dieser Arbeit durchgeführten Modellanwendungen gehen von der Annahme aus, daß kein Binnenverkehr im betrachteten System stattfindet. Hierfür gibt es zwei Gründe:

- (i) Einschränkung von Doppelzählungen bei Addition des Verkehrs unterschiedlicher Verkehrsträger;
- (ii) unsichere Entfernungsbestimmung.

ad (i). Das Problem der Distanzüberwindung mit Hilfe verschiedener Verkehrsmittel, denen verschiedene Entfernungsfunktionen entsprechen, wird im folgenden nicht angegangen. Vielmehr wird die bei der Überprüfung des Modells an der Realität verwendete Verkehrsstrommatrix des Elektroverkehrs innerhalb Süddeutschlands durch Addition derjenigen für Bahn und LKW gefunden. Befinden sich hierunter gebrochene Verkehre, so z.B. LKW-Anlieferung zur nächsten Bahnverladung oder LKW-Abtransport von der Bahnstation zum nahegelegenen Werk/Lager/Verkaufsplatz, so werden die so transportierten Güter doppelt gezählt. Man kann davon ausgehen, daß Umladungen im Wagenladungs- und LKW-Fernverkehr gerade bei elektrotechnischen Gütern nicht sehr häufig sind, da bei einer Vielzahl von ihnen stoßarme Beförderung erwünscht ist. Wenn Umladungen dennoch vorkommen sollten, werden sie am häufigsten innerhalb kurzer Distanzen von Quelle/Senke und Umschlagplatz auftreten, d.h. innerhalb des Verkehrsbezirks. Eine Vernachlässigung des Binnenverkehrs vermindert demzufolge die Gefahr von Doppelzählungen.

ad (ii). Black [28] u.a. haben verschiedene Bestimmungen der mittleren Transportentfernung innerhalb eines Verkehrsbezirks vorgeschlagen. Alle Vorschläge bleiben unsicher, da bestenfalls die Verteilung der Quellen/Senken innerhalb eines VB bekannt ist, nicht aber deren Aufkommensmengen. Da aber bei dem hier zur Anwendung kommenden Typ der Entfernungsfunktion $f(d_{ij}) = d_{ij}^{-\alpha}$ Schwankungen der kürzesten Entfernungen die größten Auswirkungen auf die modellhaft berechnete Verkehrsverteilung haben, scheint es geraten, schon bestehende Fehlerquellen - bspw. Distanzen zu den unmittelbaren Nachbarn einer Quelle bei stark schwankender Größe der VB - nicht mehr zu vermehren.

2.1 RAUMINVARIANTE BEZUGSBASIS FÜR DIE MODELLERGEBNISSE

In Stufe 1 (vgl. Abb. 3) wird angenommen, daß die Versand- und Empfangsmengen der n VB bekannt sind. Von der Kenntnis der räumlichen Lage wird jedoch kein Gebrauch gemacht. Gesucht ist eine Verkehrsverteilung dergestalt, daß die Entropie im Gesamtsystem maximiert wird und die Nebenbedingungen

$$\sum_{j=1}^n T_{ij} = V_i$$

$$\sum_{i=1}^n T_{ij} = E_j$$

bewahrt bleiben.

Nimmt man an, daß für beliebige Punkte i, j die Kenntnis des Empfangs von j nicht den Versand der Quelle i nach Senke j beeinflusst, daß also im wahrscheinlichkeitstheoretischen Sinne die Zufallsvariablen V und E unabhängig sind, so erhält man die folgende Verkehrsverteilung:

$\frac{V_1 E_1}{T}$	$\frac{V_1 E_2}{T}$	.....	$\frac{V_1 E_j}{T}$	.....	$\frac{V_1 E_n}{T}$	V_1
$\frac{V_2 E_1}{T}$	$\frac{V_2 E_2}{T}$	.....	$\frac{V_2 E_j}{T}$	.....	$\frac{V_2 E_n}{T}$	V_2
\vdots	\vdots		\vdots		\vdots	\vdots
$\frac{V_i E_1}{T}$	$\frac{V_i E_2}{T}$	.....	$\frac{V_i E_j}{T}$	.....	$\frac{V_i E_n}{T}$	V_i
\vdots	\vdots		\vdots		\vdots	\vdots
$\frac{V_n E_1}{T}$	$\frac{V_n E_2}{T}$	.....	$\frac{V_n E_j}{T}$	.....	$\frac{V_n E_n}{T}$	V_n
E_1	E_2	.....	E_j	.....	E_n	T

Es zeigt sich sofort, daß diese Verkehrsverteilung unter Einhaltung der Nebenbedingungen (1), (2) die Entropie im Gesamtsystem maximiert [*, M 4.1]. Die Ausschließung des Binnenverkehrs bewirkt bei schiefen Verteilungen der V,E eine größere Abweichung von der oben angegebenen Matrix.

Beispiel: Es sei ein System von 3 VB gegeben.

					Relative Entropie	
Aufkommensmengen	:	V	200	100	300	0,921
		E	150	420	30	0,679

					V	Rel. Entr. Zeile
Rauminvariante Ver- kehrsverteilung mit Entropiemaximierung auf Stufe 1	:	50	140	10	200	0,679
		25	70	5	100	0,679
		75	210	15	300	0,679
	E	150	420	30	600	
Rel.Entr. Spalte		0,92	0,92	0,92		0,800*

* Relative Entropie Gesamtsystem : 0,800
Relative Entropiedifferenz : 0,000

					Rel. Entr. Zeile
Rauminvariante Verkehrsverteilung mit Entropiemaximierung auf Stufe 1 - ohne Binnenverkehr - :	-	190	10	200	0,286
	80	-	20	100	0,722
	70	230	-	300	0,784
	<hr/>				
	150	420	30	600	
Rel.Entr. Spalte	0,997	0,993	0,918		0,727 (Gesamt)
Rel.Entropiedifferenz					0,163

Bemerkenswert ist, daß schon durch die Vorgabe der Diagonalelemente der VSM (kein Binnenverkehr) u.U. eine beachtliche Reduzierung der Entropie des Gesamtsystems erzielt wird. Die angegebene Verkehrsverteilung mit Binnenverkehr zeichnet sich noch dadurch aus, daß

- die Ungewißheit jeder Quelle über ihre Versandverteilung gleich der Entropie der Empfangsmengenverteilung ist;
- die Ungewißheit jeder Senke über ihre Empfangsverteilung gleich der Entropie der Versandmengenverteilung ist [*, M 4.1].

Auch diese Eigenschaften werden beim Übergang zur Verkehrsverteilung ohne Binnenverkehr abgeschwächt.

Wie können nun die oben aufgeführten Eigenschaften

- Rauminvarianz bei gleichzeitiger Entropiemaximierung unter Einhaltung der Nebenbedingungen (1), (2);
- Gleichheit aller Zeilenentropien, Gleichheit aller Spaltenentropien

zur Verwendung dieser Verkehrsverteilung als Bezugsbasis für modellhaft berechnete VSM nutzbar gemacht werden? Ein Hinweis gibt Beziehung (10). Gliedert man die im Modell angenommene Verkehrsverteilung in zwei Faktoren auf, ergibt sich:

$$T_{ij} = \left[\frac{1}{T} V_i E_j \right] \cdot \left[A_i^* B_j f(d_{ij}) \right] .$$

Da der erste Faktor identisch ist mit dem (i,j)-ten Element der oben angegebenen VSM, scheint es naheliegend, den zweiten Faktor als Präferenz der Quelle i zu interpretieren. Diese Präferenz gibt das Vielfache des Verkehrs der Bezugsbasis an, das unter Berücksichtigung des Raumes und aller Nebenbedingungen von i nach j fließt. Anders ausgedrückt: alle Präferenzen der Quelle i ergeben in ihrer räumlichen Verteilung die in 1.3.3 erwähnte räumliche Widerstandsfunktion dieser Quelle.

Die Betrachtung der Präferenzen anstelle der tatsächlichen oder modellhaft berechneten Verkehrsflüsse ermöglicht es, die Intensitäten der Interaktion von einer Quelle zu verschiedenen Senken oder von zwei Quellen zu ein und derselben Senke zu vergleichen.

Fortsetzung Beispiel: Hat man etwa mit Hilfe des Modells folgende Verkehrsverteilung errechnet:

85	110	5	200	so erhält man als Präferenzen	$\frac{85}{50}$	$\frac{110}{140}$	$\frac{5}{10}$	1,7	0,8	0,5	3,0
45	35	20	100		$\frac{45}{25}$	$\frac{35}{70}$	$\frac{20}{5}$	= 1,8	0,5	4,0	6,3
20	275	5	300		$\frac{20}{75}$	$\frac{275}{210}$	$\frac{5}{15}$	0,3	1,3	0,3	1,9
150	420	30	600					3,8	2,6	4,8	11,2

Es zeigt sich, daß die Präferenz von Quelle 1 zur Senke 1 etwa gleich ist der Präferenz von Quelle 2 zur Senke 1, was aus den absoluten Verkehrsmengen nicht abzulesen ist. Die absoluten Werte täuschen deshalb, weil ja die Versandmenge von Quelle 1 doppelt so groß ist wie diejenige der Quelle 2. Aus dem gleichen Grund sind die Verkehrsflüsse von 1 nach 3 und 3 nach 3 absolut zwar gleich, nicht jedoch bei Betrachtung der Präferenzen.

Nachteilig scheint, daß die einzelnen Quellen (Senken) über unterschiedliche Präferenzensummen verfügen. Wenn gefragt wird, welchen Anteil ihrer Präferenzen zentral gelegene Quellen zu randlichen Senken senden, wird man zu relativen Werten übergehen müssen; d.h. Beziehen der Präferenzen einer Quelle auf ihre Präferenzsumme.

Fortsetzung Beispiel:

Präferenzen	bezogen auf Zeilensummen						
1,7 0,8 0,5 | 3,0	0,57	0,26	0,17	|	1		
1,8 0,5 4,0 | 6,3	0,29	0,08	0,63	|	1		
0,3 1,3 0,3 | 1,9	0,14	0,69	0,17	|	1		

Thematisch in diesen Abschnitt gehört die Behandlung der Frage, wie die Güte der Näherung der modellhaft berechneten Verkehrsverteilung beurteilt werden kann, falls die wahre Verkehrsverteilung bekannt ist. (Fall, daß Modell als Norm oder zur Reproduktion verwendet werden soll.) Bei Heranziehung des einfachen Gravitations-

modells wird vielfach der Korrelationskoeffizient verwandt, eine Methode, die in der jüngeren Literatur sehr angezweifelt wird (vgl. hierzu Curry [63, p.132]). Beim erweiterten Modell verbietet sich dieses Vorgehen von selbst, da die Modellparameter nicht mehr mit Hilfe einer einfachen Regression bestimmt werden können.

Ein Bestimmtheitsmaß, das sowohl zur Beurteilung der Güte der Näherung der Gesamtverteilung als auch der Verkehrsverteilung einzelner Quellen oder Senken eingesetzt werden kann, ist durch

$$(14) \quad u(T,O) = \frac{\sigma^2(O) - E(T-O)^2}{\sigma^2(O)}$$

gegeben [Blackwell; 32, p.46].

- T: hier : berechnete Verkehrsverteilung
(als Variable)
- O: hier : beobachtete Verkehrsverteilung
(als Variable)
- $\sigma^2(O)$: Varianz der beobachteten Verkehrsverteilung
- $E(T-O)^2$: Erwartungswert der quadratischen Abweichung
(mittleres Fehlerquadrat)

Das Bestimmtheitsmaß nimmt den Wert 1 an, falls berechnete und tatsächliche Verkehrsverteilung übereinstimmen; den Wert 0, falls jeder berechnete Verkehrsfluß gleich dem im Mittel erwarteten ist. Für den Fall der Beurteilung der berechneten Verkehrsverteilung der Quelle i mit dem Versand V_i bedeutet das: Sind die berechneten Verkehrsflüsse T_{ij} von Quelle i nach den Senken j alle gleich $\frac{V_i}{n}$, so ist das zugehörige Bestimmtheitsmaß $u(T^{(i)}, O^{(i)}) = 0$. Das Bestimmtheitsmaß kann auch negative Werte annehmen.

Es wird nun vorgeschlagen, eine modellhaft berechnete VSM dann als Norm für die Bewertung der realen VSM zuzulassen, wenn alle Zeilen-Bestimmtheitsmaße jene der Stufe 1 übertreffen.

Dann nämlich bedeutet der Einbezug des Raumes in das Modell zur Schätzung der wahren Verkehrsverteilung einen Gewinn.

Ebenso wie das definierte Bestimmtheitsmaß ist auch die Entropie als Maß der Ungewißheit über die Verkehrsverteilung im Gesamt-

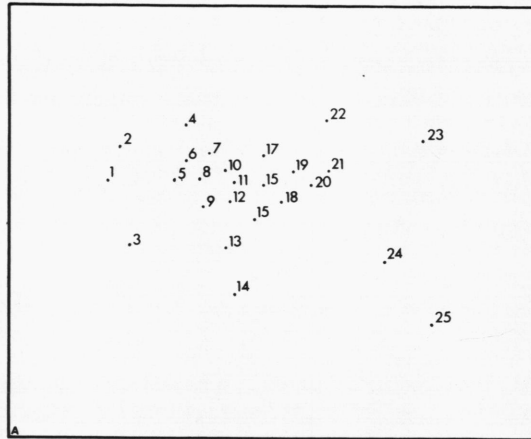
system oder einzelner Quellen rauminvariant. Da die Modellhypothese auf dem Prinzip der Entropiemaximierung im Gesamtsystem beruht scheint es angebracht, diese und die Entropien der Verkehrsverteilungen einzelner Quellen/Senken für Modell und ggf. Original zu berechnen [Obst; 184], [Richter; 205]. Es fragt sich nämlich, welche räumliche Verteilung die Quell-Entropien unter Maximierung der Entropie des Gesamtsystems aufweisen. Dieser Ansatzpunkt wird im Rahmen der Arbeit verfolgt werden, nicht aber jener von Batty [13]. Batty hat versucht, eine raumbezogene Entropie herzuleiten, so daß es möglich erscheint, künftig die Fläche der Verkehrsbezirke in das Modell mit einzubeziehen und Verkehrsdichte statt Verkehrsverteilungsfunktionen abzuleiten. Man beachte, daß alle relativen Entropien den Ausschluß des Binnenverkehrs mit berücksichtigen.

2.2 EINBEZUG DES RAUMES IN DIE BETRACHTUNG

In Stufe 2 wird angenommen, daß die Aufkommensmengen räumlich gleichverteilt sind. Als Exponent der gegenüber Stufe 1 hinzukommenden Entfernungsfunktion wird $\alpha = 1.0$ gewählt.

Zunächst soll die Raumvariable Distanz eingeführt werden. Um eine Diskussion des von Curry/Johnston vertretenen 'friction-Konzepts' zu erleichtern, wird das von Johnston [129, p.188] simulierte Punktmuster herangezogen (vgl. Abb. 5). Die Entfernungen zwischen diesen 25 Verkehrsschwerpunkten werden mit Hilfe des Satzes von Pythagoras bestimmt, sind demnach Luftlinienentfernungen. Mit der Entfernungsbestimmung ist die Übertragung der räumlichen Verhältnisse in das Modell geleistet. Sie läßt sich auch wieder rückgängig machen. Denn mit Kenntnis der Entfernungsmatrix kann das Punktmuster ($n > 3$) wieder konstruiert werden. Demnach steckt also nicht nur die Raumvariable Entfernung in der Distanzmatrix, sondern auch die von ihr ableitbare relative Lage.

Abb. 5 Simuliertes Punktmuster von Johnston



Quelle : Johnston, R.J. [129, p.188]

2.2.1 Relative Lage

Wie kann nun die relative Lage quantifiziert werden? Aus der Fülle der Möglichkeiten seien zwei herausgegriffen:

- (i) Statistische Parameter der Entfernungsverteilung eines Punktes
- (ii) Aufstellung einer Nachbarschaftsmatrix und Ermitteln entsprechender statistischer Parameter.

ad (i). Angenommen, es wird von einer Quelle je eine Verkehrsmengeneinheit zu allen 24 Senken versandt, so fragt es sich, welche durchschnittliche Entfernung zurückgelegt wird. Ergänzend zu diesem arithmetischen Mittel der Entfernungen aller von der Quelle ausgehenden Interaktionen kann als Streuungsmaß die Standardabweichung berechnet werden. Die relative Streuung ist mit Hilfe des Variationskoeffizienten meßbar.

Tabelle 2

Punktmuster 'Johnston'; arithmetisches Mittel und Variationskoeffizient der Versand-Entfernungsverteilung

	\bar{x}	v		\bar{x}	v		\bar{x}	v
1	10,88	0,51	11	5,75	0,68	21	8,23	0,45
2	10,51	0,52	12	5,89	0,66	22	9,50	0,38
3	10,38	0,45	13	7,30	0,47	23	13,93	0,30
4	8,26	0,57	14	9,49	0,31	24	12,18	0,32
5	7,20	0,67	15	6,26	0,54	25	16,92	0,25
6	7,05	0,68	16	5,93	0,61			
7	6,51	0,67	17	6,39	0,57			
8	6,30	0,72	18	6,51	0,51			
9	6,33	0,65	19	6,76	0,53			
10	5,94	0,70	20	7,33	0,49			

Abb. 6 Durchschnitt und Standardabweichung der Versandentfernung bei Punktmuster 'Johnston'

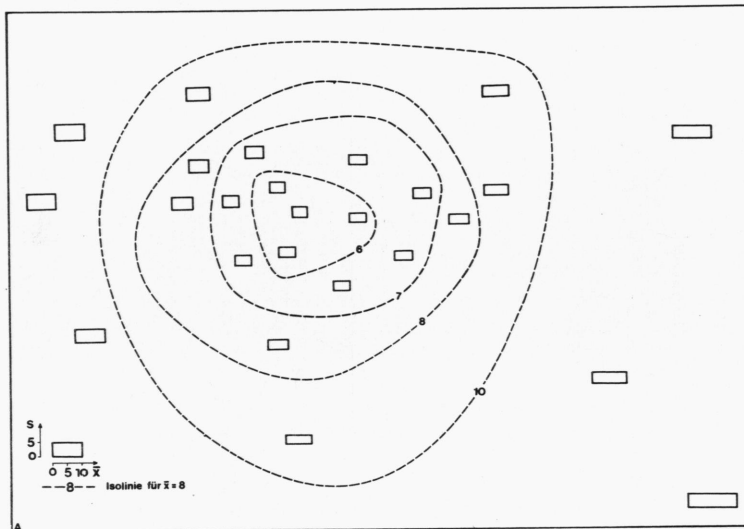


Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse für alle 25 Punkte. Ein Blick auf Abb. 6 lehrt, daß die durchschnittliche Entfernung für zentrale Punkte minimal ist, für randlich gelegene Punkte maximal. Da die Standardabweichung im allgemeinen auch vom Zentrum zum Rand höhere Werte aufweist, die Steigerung jedoch nicht mit derjenigen der

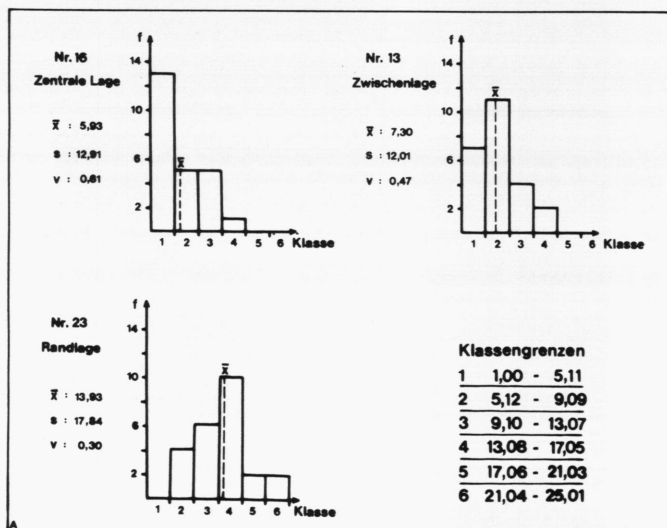
Durchschnittsentfernung Schritt hält, nehmen die Werte des Variationskoeffizienten vom Zentrum zum Rand hin ab.

Mit Hilfe der angegebenen Isolinien können Gruppen von Punkten gleicher relativer Lage ausgeschieden werden. So werden drei Lagecharakterisierungen wie folgt definiert:

<u>Mittlere Entfernung</u>	<u>Bezeichnung</u>
unter 6,0	zentrale Lage
6,0 - 7,9	Zwischenlage
8,0 und mehr	Randlage

Statistische Parameter dienen zur Informationsraffung und besten Repräsentation der Daten. Dies läßt darauf schließen, daß auch die in der Informationsraffung vorgeschalteten Histogramme der Entfernungverteilungen einzelner Quellen geeignet sind, ihre relative Lage zu charakterisieren. Hierzu drei Beispiele (Abb. 7):

Abb. 7 Punktmuster 'Johnston' Versandentfernungsverteilung in Abhängigkeit von relativer Lage



Alle drei Häufigkeitsverteilungen sind - für die gewählte Klasseneinteilung - eingipflig, asymmetrisch und weisen in den Klassen für die größten Entfernungen niedrige Häufigkeiten auf. Die ausgewählten Punkte können in ihren Entfernungverteilungen als typisch für die relativen Lagen zentral, Zwischenlage, randlich des Punktmusters 'Johnston' angesehen werden.

Allgemein betrachtet ist die Gestalt der Häufigkeitsverteilung der Entfernung für eine der erwähnten Lagetypen abhängig von

- der Abgrenzung des Untersuchungsraumes,
- der Variation der Punktdichte (vgl. [*, M 1.2]).

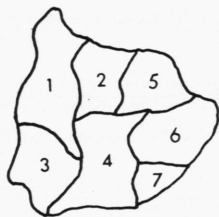
Die Abgrenzung des Untersuchungsraumes, allgemeiner: die Tatsache der Endlichkeit aller hier betrachteten Entfernungen, kommt in den schon erwähnten niedrigen Häufigkeiten der jeweils höchsten Klassen zum Ausdruck. Zwar weist der der höchsten Klasse entsprechende Kreisring um Punkt i die größte Fläche aller Kreisringe um i auf, jedoch liegt er je nach relativer Lage von Punkt i nicht mehr oder nur teilweise im Untersuchungsgebiet. Wenn zusätzlich keine gleichmäßige Punktdichte im Untersuchungsgebiet vorliegt, sondern eine zentrale Verdichtung, so macht sich dieser Klumpen für zentrale Punkte trotz geringer Fläche des ersten Kreisringes in der 1. Klasse für Punkte der Zwischenlage in der 2. oder 3. Klasse und für randliche Punkte in der 3. und höheren Klasse als deutliches Maximum bemerkbar.

ad (ii). In zunehmendem Maße werden bei quantitativen Verfahren (bspw. Distanzgruppierung) und statistischen Tests (Räumliche Autokorrelation) die Nachbarschaftsverhältnisse berücksichtigt. Einer Anregung von Cliff/Ord [58, p.11] folgend, läßt sich parallel zur Entfernungsmatrix eine Nachbarschaftsmatrix aufstellen. Hierzu ist es nötig, zu definieren, was unter Nachbarschaften 1., 2., ... n -ter Ordnung zu verstehen ist.

Gegeben sei ein in n Teilräume gegliederter Gesamttraum, wobei einerseits keine Überschneidungen vorkommen, andererseits der Gesamttraum vollständig aufgeteilt ist. Für den Teilraum i sind alle jene Teilräume Nachbarn 1. Ordnung, welche unmittelbar an ihn grenzen.¹ Nachbarn 2. Ordnung von i sind alle Nachbarn 1. Ordnung der Nachbarn 1. Ordnung von i , ausgenommen i und Nachbarn 1. Ordnung von i . Analog sind Nachbarn k -ter Ordnung von i alle Nachbarn 1. Ordnung der Nachbarn $(k-1)$. Ordnung von i , ausgenommen i und Nachbarn $(k-1)$. oder niederer Ordnung von i ($k > 1$).

1 Vorher muß festgelegt sein, was unter "Angrenzen" zu verstehen ist, um Zweifelsfälle auszuschließen.

Beispiel:



Nachbarn 1.Ordnung der Raumeinheit 1 sind 2,3,4.

Suche zur Bestimmung der Nachbarn 2.Ordnung von 1 alle Nachbarn 1.Ordnung von 2,3,4, ausgenommen 2,3,4 und 1. Man erhält: 5,6,7.

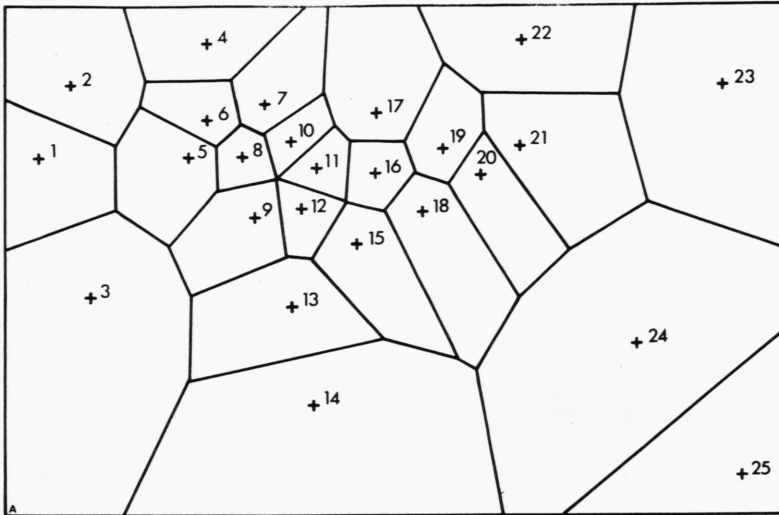
Die vollständige, symmetrische Nachbarschaftsmatrix:

	1	2	3	4	5	6	7	Σ
1	-	1	1	1	2	2	2	9
2	1	-	2	1	1	2	2	9
3	1	2	-	1	2	2	2	10
4	1	1	1	-	1	1	1	6
5	2	1	2	1	-	1	2	9
6	2	2	2	1	1	-	1	9
7	2	2	2	1	2	1	-	10

Die Zeilensummen können ähnlich wie die Durchschnittsentfernungen im vorherigen Verfahren zur Charakterisierung der relativen Lage der Teilräume herangezogen werden. Sicherlich kann eine extreme Grenzziehung das Bild etwas verfälschen, so daß u.U. gewisse Grenzgeneralisierungen vor Beginn der Untersuchungen vorgenommen werden müssen. Im Beispiel kommt die besondere Stellung der Teil-einheit 4 mit Nachbarschaften 1.Ordnung zu allen übrigen Teil-gebieten im niedrigen Wert der Zeilensumme gut zum Ausdruck, ebenso die etwa gleiche Lage aller übrigen Teilgebiete, von denen nur 3 und 7 in einer ungünstigeren Situation sind.

Um das dargelegte Verfahren auf das Punktmuster 'Johnston' anwen-den zu können, bedarf es einer Einteilung des Untersuchungsgebietes in 25 Teilräume, innerhalb deren je ein Punkt liegen soll. Es bietet sich an, die zugehörigen Thiessen-Polygone zu konstruieren, wobei der Gesamtraum nach außen willkürlich abgegrenzt wird (Abb.8). Die auf dieser Basis erhaltene Nachbarschaftsmatrix (TA 3) dient zur Bestimmung der Durchschnitts-Nachbarschaftsordnung jedes Punk-tes, was als Analogon zur Durchschnittsentfernung angesehen werden kann.

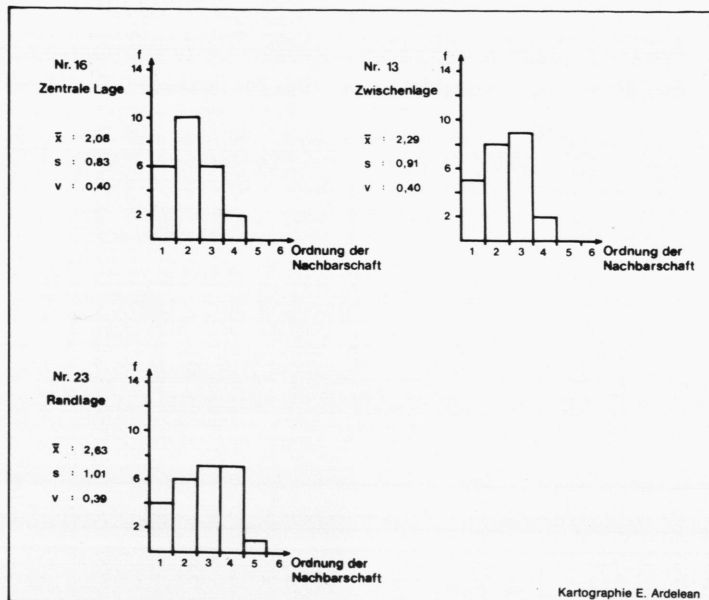
Abb. 8 Punktmuster 'Johnston' : Thiessen-Polygone



Vergleicht man diese beiden Größen miteinander, lassen sich Gemeinsamkeiten, aber auch beträchtliche Unterschiede ihrer räumlichen Verteilung feststellen. So wird Punkt 17 hinsichtlich Nachbarschaften als zentral angesehen, weil er direkt an sechs Teilräume angrenzt, die ihrerseits hinsichtlich Distanzen z.T. zentral sind. Punkt 1 liegt hinsichtlich Nachbarschaften randlich, ebenso 25. Das Distanzkriterium verschleiern diesen Sachverhalt etwas, da Punkt 1 näher zum Klumpen liegt als 25. Man überlegt sich leicht, daß die Diskrepanzen in der Beurteilung der relativen Lage der zwei Verfahren dann abgeschwächt werden, wenn die Punktdichte gleichmäßiger und/oder das Punktmuster symmetrischer wird.

In Abb. 9 sind zum Vergleich die Verteilungen der Nachbarschaften n -ter Ordnung für die ausgewählten Punkte 16, 13 und 23 dargestellt. Die Einteilung des Gebietes mit Hilfe der Thiessen-Polygone bedingt, daß die Anzahl der Nachbarn 1. Ordnung in allen Fällen diejenige 2. Ordnung nicht überschreitet. Dann allerdings machen sich die Effekte der relativen Lage und der Abgeschlossenheit des Systems bemerkbar.

Abb. 9 Punktmuster 'Johnston' : Verteilung der Nachbarschaften
n-ter Ordnung in Abhängigkeit von relativer Lage



Die beiden Verfahren zur Bestimmung der relativen Lage werden später gebraucht. Es ist darauf hinzuweisen, daß bei gewichteten Punkten die Durchschnittsdistanz in Verbindung mit einem verallgemeinerten Potentialbegriff ebenfalls Ausdruck der relativen Lage sein kann.

2.2.2 Entropiemaximierung und Entfernung

Die Raumvariable Distanz ist eingeführt und es steht zu erwarten, daß sie Einfluß auf die Entropiemaximierung der Verkehrsverteilung nimmt. Es fragt sich, in welcher Weise und regionalen Differenzierung dieser Einfluß wirkt.

Betrachtet man hierzu noch einmal Stufe 1. Für den Fall überall gleicher Versand- und Empfangsmengen ($V = E = 1000$) und 25 Ver-

kehrsschwerpunkten erhält man nach 2.1 folgende Verkehrsverteilung:

$$(15) \quad T_{ij} = \frac{V_i E_j}{T}$$

(mit Korrektur wegen $T_{ii} = 0$)

0	.	.	.	41,6	1000	0,99
					⋮	⋮
					⋮	⋮
					1000	0,99
41,6	.	.	.	0		
E	1000	...	1000			
Entr.	0,99		0,99			0,99

Jede Quelle versendet also 41,6 Verkehrseinheiten an jede Senke. Die relative Entropie des Gesamtsystems beträgt 0,99 ebenso wie jede der Quellen und Senken.

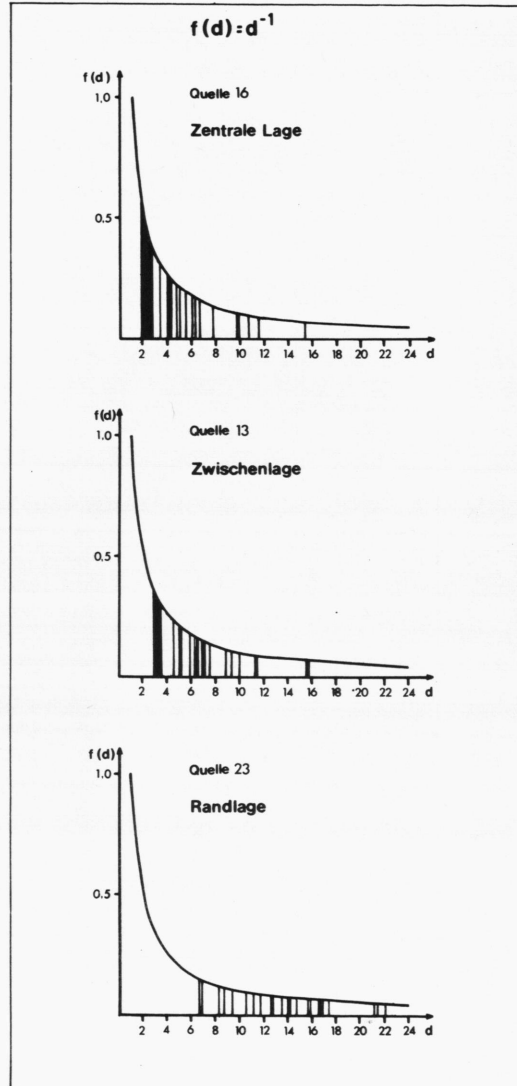
Beim Übergang zur Stufe 2 ergibt sich die Schwierigkeit, die Ausgleichsfaktoren A,B zu bestimmen. Dieses Problem wird in 2.5 angegangen. Zwischenzeitlich wird A so gewählt, daß die Nebenbedingung (1) erfüllt ist; B wird im ganzen Untersuchungsgebiet 1 gesetzt. Dann erhält man als Vorschrift zur Berechnung der Verkehrsverteilung das leicht modifizierte einfache Gravitationsmodell

$$(16) \quad T_{ij} = A_i^{-1} V_i E_j d_{ij}^{-\alpha} \quad \text{mit} \quad V_i = E_j = 1000 \quad \text{und} \quad \alpha = 1.$$

Die entsprechende Verkehrsverteilungsmatrix ist in TA 6 wiedergegeben. Zusätzlich sind die Quellen- und Senkenentropien sowie die Gesamtentropie des Systems aufgeführt.

Die Reduzierung der Gesamtentropie des Systems ist zu erwarten, da im Vergleich zu Stufe 1 mehr Information zur Berechnung herangezogen wurde. Auffallend jedoch ist die klare räumliche Differenzierung der relativen Versandentropien. Für vorliegendes Punktmuster ergibt sich ein Ansteigen der Versandentropien vom Zentrum zum Rand. Eine einfache Rechnung zeigt [*, M 5.1], daß hierfür die unterschiedlichen Entfernungsverteilungen in Verbindung mit der Gestalt der Entfernungsfunktion verantwortlich gemacht werden können. So werden bei Berechnung der Verkehrsverteilungen der Quellen 16, 13 und 23 gegeneinander verschobene und unterschiedlich belegte Bereiche der Entfernungsfunktion benutzt, wie sie in Abb. 10 dargestellt sind.

Abb. 10 Punktmuster 'Johnston': Stützstellenverteilung der Entfernungsfunktion in Abhängigkeit von relativer Lage



Kartographie E. Ardelean

In der Entfernungsverteilung des zentral gelegenen Punktes 16 treten niedrige Distanzen recht häufig auf. So liegen im Entfernungsbereich 1 bis 5 die Hälfte aller Werte. Die Entfernungsfunktion weist ihrerseits in diesem Intervall stark veränderliche Steigungen auf, so daß geringe Variationen in den Distanzen große Schwankungen in

den Werten der Entfernungsfunktion hervorrufen. Diese Schwankungen sind verantwortlich für die relativ niedrige Entropie der Versandverteilung zentraler Punkte.

Anders bei Punkt 23. Hier häufen sich die von diesem Punkt aus gemessenen Entfernungen im Bereich 13 bis 17. Gemäß dem Verlauf der Entfernungsfunktion werden bei geringer Variation der Distanzen nur geringe Schwankungen der entsprechenden Funktionswerte erzeugt, woraus sich die höhere Entropie der Randpunkte ergibt.

Das erzielte Ergebnis kann noch nicht verallgemeinert werden, da es unter einschränkenden Voraussetzungen und anhand eines speziellen Punktmusters gewonnen wurde. Gleichwohl ist jedoch darauf hinzuweisen, daß die regionale Differenzierung der Entropiereduzierung gegenüber Stufe 1 durch Einführung der Entfernung nicht in der Wilson'schen Hypothese oder als Folgerung erwähnt ist. Man hat im Modell immer nur die Distanz und die Entropiemaximierung im Gesamt- raum im Auge. Aber der Einfluß der Raumvariablen 'relative Lage', die - wie gezeigt - aus der Entfernungsmatrix hergeleitet werden kann, wird vernachlässigt.

2.2.3 Ordinale Entfernungsmatrix

Folgt man Johnston/Curry, so kommt es darauf an, nicht nur den Einfluß der relativen Lage auf die Modellverteilung zu vernachlässigen, sondern ihn überhaupt zu eliminieren. In den Gang der hier vorgetragenen Überlegungen eingebaut hieße dies: wie kann erreicht werden, daß unter den für dieses Kapitel gemachten Voraussetzungen durch Einführung der Entfernung die Entropie des Gesamtsystems maximiert, gegenüber Stufe 1 reduziert, gleichzeitig jedoch die einzelnen Versandentropien der Quellen räumlich gleich vermindert werden?

Faßt man noch einmal zusammen, was zu der regional unterschiedlichen Reduktion der Versandentropien führte, ergibt sich:

- regional unterschiedliche Anfangs- und Endentfernungen; damit wird modellmäßig berechnete Verkehrsverteilung durch unterschiedliche Bereiche der Entfernungsfunktion beeinflusst;
- innerhalb des Bereiches minimaler und maximaler Entfernung unterschiedliche Streuung der Entfernungen, was weiterhin zu unterschiedlicher Homogenität der Versandmengen führt.

Gesucht ist also ein Maß für die Entfernung, bei dem jede Quelle

- die gleichen Anfangs- und Endentfernungen und
- gleiche Verteilungen der Entfernungen

innerhalb dieses Bereichs aufweist.

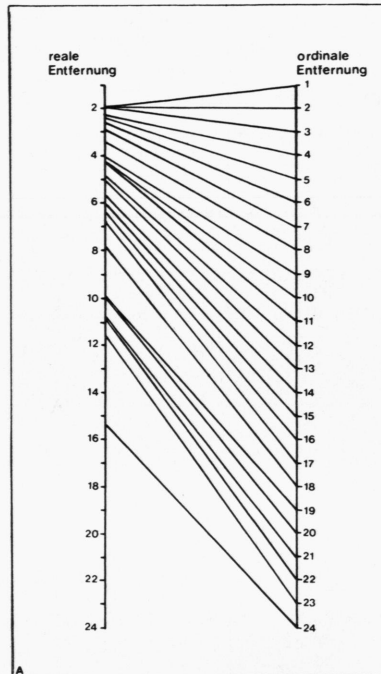
Es bietet sich die von Johnston - allerdings mit einer etwas anderen Begründung [129] - in die Verkehrsgeographie eingeführte ordinale Entfernung an. Die ordinalen Entfernungen gehen aus den bisher benutzten dadurch hervor, daß man alle Entfernungen einer Quelle zu den Senken ordnet und anstelle der realen Entfernungen die Ordnungszahlen setzt. Dieses Vorgehen bedarf einer Präzisierung, falls zwei oder mehrere Senken gleichweit von der betrachteten Quelle entfernt sind.

Der nächste Nachbar einer Quelle ist dann immer 1 Einheit entfernt, die entferntest gelegene Senke n (bei Nichtbeachtung des Binnenverkehrs: $n - 1$) Einheiten entfernt. Außerdem ist die Entfernungsverteilung für jede Quelle gleich.

Beispiel: Quelle 16

Senke Nr.	Entfernungen real	ordinal
1	10,7	21
2	10,1	20
3	9,9	19
4	6,8	17
5	6,0	15
6	5,6	14
7	4,1	9
8	4,3	11
9	4,2	10
10	2,9	7
11	1,92	1
12	2,6	6
13	5,0	13
14	7,8	18
15	2,4	5
16	-	-
17	1,96	2
18	1,99	3
19	2,3	4
20	3,4	8
21	4,8	12
22	6,4	16
23	11,6	23
24	11,1	22
25	15,4	24

Abb. 11 Punktmuster 'Johnston': Übergang von realer zu ordinaler Entfernung für Quelle 16



Führt man also auf Stufe 2 statt der realen Entfernungen ordinale ein, so erhält man bei Bewahrung der Modellhypothese eine Verminderung der Gesamtentropie der Verkehrsverteilung gegenüber Stufe 1 zusammen mit einer überall gleichen Verminderung der Versandentropie der Quellen [*, M 5.2]. Dies wäre im Sinne des 'friction-Konzeptes'.

Zwei Punkte sollten allerdings nicht übersehen werden:

- (i) Bei Bildung der ordinalen Entfernungen wird den Versendern implizit eine Verhaltenshypothese unterstellt.
- (ii) Die ordinale Entfernungsmatrix ist nicht mehr symmetrisch.

ad (i). Die Abb. 11 weist aus, daß die in einem Verkehrsschwerpunkt - hier: Quelle 16 - lokalisierten Versender unterschiedliche

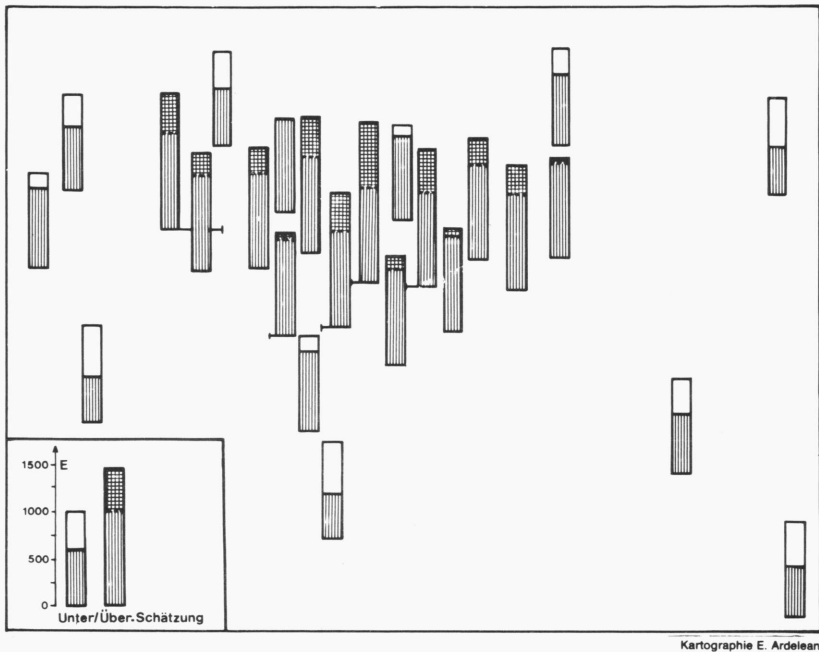
Entfernungsdifferenzen zwischen je zwei Senken gleich gewichten. So sind die Senken 17 und 18 fast gleich weit von Quelle 16 entfernt und doch wird der geringfügige tatsächliche Unterschied in ordinalen Entfernungen genauso wahrgenommen wie der beträchtliche zwischen den Senken 4 und 14. Diese im gesamten Entfernungsbereich recht sprunghafte Perzeption unterstellt eine bis in die weitesten Entfernungen hinein bestehende Fähigkeit zum Vergleichen der relativen Nähe zweier möglicher Ziele. Ein solches Verhalten wird leider nicht durch die Ergebnisse der Perzeptionsforschung gestützt, die eher dem in 1.3.3 angegebenen den Vorzug geben.

Sollten die Senken tatsächlich aufgrund ihrer (subjektiven) Wahrnehmung durch die Versender geordnet werden, wie es etwa bei Anwendung des 'intervening-opportunity-Modells' erforderlich ist, würde zusätzliche Information benutzt, was den Modellvoraussetzungen widerspräche.

ad (ii). Die Preisgabe der Symmetrie bei Abbildung des Raumes in das Modell mit Hilfe einer ordinalen Entfernungsmatrix erschwert die Umkehrbarkeit dieser Abbildung. Des weiteren ist die Einhaltung der Nebenbedingungen im Modell teilweise leichter geworden. Zwar zeigt TA 6, daß gegenüber den Ergebnissen unter Verwendung realer Entfernungen die A_i räumlich nicht mehr variieren (falls $B = 1$), jedoch sind in beiden Fällen die berechneten Empfangsmengen räumlich ungleich verteilt, was der Voraussetzung dieses Kapitels widerspricht.

Die Gründe hierfür liegen auf der Hand, ja treten bei Verwendung der ordinalen Entfernungsmatrix am klarsten zutage. Betrachtet man die Spalten der ordinalen Entfernungsmatrix (TA 2), so stellt man fest, daß bei zentral gelegenen Senken gehäuft niedrige Werte auftreten, bei randlich gelegenen Senken gehäuft hohe Werte. Da nun unter den gemachten Annahmen über ein und dieselbe Entfernung gleich viel versandt wird - unabhängig von der Lage der Quelle - und die Versandmenge mit zunehmender Distanz entsprechend der Entfernungsfunktion abnimmt, müssen die zentralen Senken mehr erhalten als die randlichen (vgl. Abb. 12).

Abb. 12 Punktmuster 'Johnston'; ordinale Entfernungen Stufe 2;
einfaches Gravitationsmodell: Fehlschätzung der Empfangsmengen



Wollte man das 'friction-Konzept' durch Preisgabe der Nebenbedingung (2) retten, so würde man mißachten, daß nicht nur die Raumvariable Entfernung, sondern auch die aus der ordinalen Entfernungsmatrix ableitbare relative Lage der Senken die Verkehrsverteilung des Gesamtsystems beeinflußt. Zudem hat Heggie [108] zweifelsfrei und recht eindringlich gezeigt, daß dann die logische Konsistenz (vgl. Heggie) des gesamten Gravitationsansatzes nicht mehr gegeben ist.

Das Gegenargument gegen das 'friction-Konzept' besteht in dem oben erbrachten Nachweis, daß es nicht genügt, in einem abgeschlossenen Untersuchungsgebiet jeder Quelle die gleiche Entfernungsverteilung - sprich: Perzeption - zuzuordnen und dann völlig zu übersehen, daß es aufgrund der unterschiedlichen Lage der Verkehrsschwerpunkte notwendigerweise zu Konkurrenzen im Gesamt-Versenderverhalten kommen muß. Hier sollte man doch zumindest eine Rückkopplung des Versenderverhaltens erwarten, um der sich aus der relativen Lage

der Senken ergebenden Ungleichverteilung der Empfangsmengen entgegenzuwirken. Freilich wird dann die relative Lage nicht nur implizit, sondern auch explizit auf die Versandverteilung der einzelnen Quellen Einfluß nehmen, was eben zur Aufgabe des 'friction-Konzepts' in dieser Form zwingt. An dieser Stelle befindet sich der Hauptansatzpunkt für die weiteren Ausführungen. Es soll in dem nächsten Abschnitt der eben beschriebene Effekt der räumlichen Konkurrenz definiert, weitgehend operationalisiert und der unterschiedliche Einfluß des Punktmusters auf seine Stärke an Beispielen gezeigt werden.

2.3 EFFEKT DER RÄUMLICHEN KONKURRENZ

Wegen der schon erwähnten Vereinfachung der Konstanz der A wird zunächst die ordinale Entfernungsmatrix beibehalten. Sie wird aber später durch die reale Entfernungsmatrix wieder abgelöst (vgl. 2.8).

Als Effekt der räumlichen Konkurrenz wird die Nichteinhaltung der Nebenbedingungen bei Anwendung des einfachen Gravitationsmodells bezeichnet. Im oben beschriebenen Fall handelt es sich um die räumliche Versandkonkurrenz, die die Ungleichverteilung der Empfangsmengen bewirkt. Aus der Definition läßt sich die Quantifizierung dieses Effektes wie folgt ableiten.

- 1 Zur Verkehrsverteilung wurde die Beziehung

$$T_{ij} = A_i V_i E_j d_{ij}^{-\alpha}$$

benutzt.

- 2 Wegen der Verwendung ordinaler Entfernungen war A_i für alle Quellen gleich.

- 3 Als modellhaft berechnete Empfangsmenge der j-ten Senke erhält man

$$\sum_{i=1}^n T_{ij} = E_j A \sum_{i=1}^n V_i d_{ij}^{-\alpha} .$$

- 4 $\sum_{i=1}^n V_i d_{ij}^{-\alpha}$ ist ein Maß für die Versandkonkurrenz an der Senke j.

Man wird unschwer in diesem Ausdruck einen verallgemeinerten Potentialbegriff erkennen, wie ja seit langem die Beziehungen von Gravitationsansatz und Potential bekannt sind [Carrothers; 47]. Entscheidend ist aber in diesem Zusammenhang zunächst der Einfluß der relativen Lage, der in der Taylor-Entwicklung dieses Ausdrucks besonders gut zur Geltung kommt [*, M 3.1].

Es stellen sich nun vier Fragen:

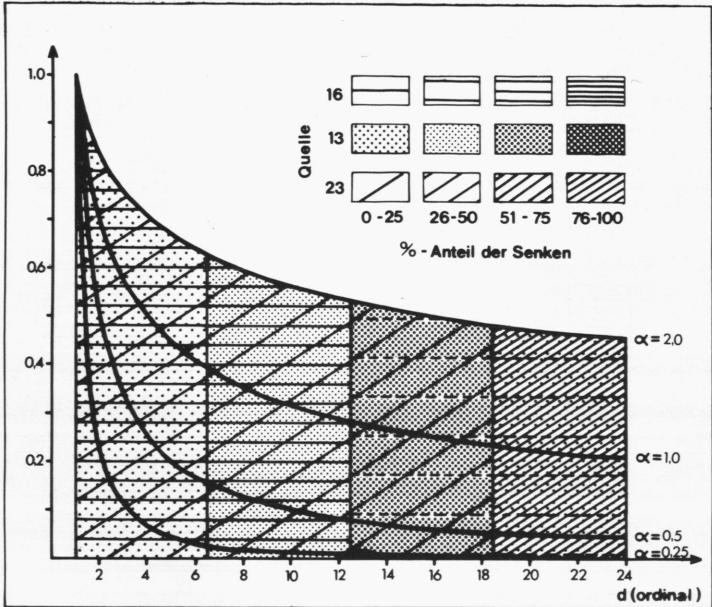
1. Beeinflußt der Exponent der Entfernungsfunktion die räumliche Konkurrenz?
2. In welcher Weise hängt dieser Effekt vom gewählten Punktmuster ab?
3. Welche Auswirkungen hat die räumliche Verteilung der Versandmengen auf die Versandkonkurrenz (- analog: Empfangsmengen auf Empfangskonkurrenz)?
4. Wie kann eine Kompensation dieses Effektes im Modell erreicht werden?

Mit Ausnahme der 3.Frage, die erst im Kapitel 4 behandelt wird, weil hier zunächst Gleichheit der Versandmengen im Raum vorausgesetzt ist, werden die Fragen nachfolgend bearbeitet.

ad 1. In Abb. 13 sind für vier verschiedene Exponenten die zugehörigen Entfernungsfunktionen ausgezeichnet und gleichzeitig in vier Bereichen die Belegung durch Empfangs-Entfernungen der Senken 16, 13, 23 markiert. Man erkennt, daß die Unterschiede zwischen zentraler und randlicher Senke hinsichtlich der Werte der Ent-

fernungsfunktion mit wachsendem Exponenten zunehmen. Insbesondere gilt dies auch für die Versandkonkurrenz - vgl. Ausdruck in Punkt 4 der Herleitung -, dessen Werte in Tabelle 3 angegeben sind.

Abb. 13 Punktmuster 'Johnston'; verschiedene Exponenten: Stützstellendichte der Entfernungsfunktion in Abhängigkeit von relativer Lage



Kartographie E. Ardelean

Tabelle 3

Vergleich der Versandkonkurrenz bei verschiedenen Exponenten für ausgewählte Senken

Exp. α	0,25	0,50	1,00	2,00	0,25	0,50	1,00	2,00	0,25	0,50	1,00	2,00
Senke	absolute Werte [$\cdot 1000$]				bezogen auf 16				bezogen auf $\sum_{k=1}^{n-1} V_k k^{-\alpha}$			
16	15,4	10,3	5,4	2,7	1,00	1,00	1,00	1,00	1,11	1,22	1,42	1,7
13	13,6	7,9	3,2	1,2	0,88	0,77	0,59	0,46	0,98	0,94	0,84	0,8
23	11,9	6,1	1,8	0,4	0,77	0,59	0,34	0,14	0,86	0,72	0,49	0,2
$\sum_{k=1}^{n-1} V_k k^{-\alpha}$	13,9	8,4	3,8	1,6								

Es läßt sich feststellen, daß mit wachsendem Exponenten der Effekt der räumlichen Konkurrenz ausgeprägter wird. Immer weiter klaffen

die Werte für zentrale und randliche Senke auseinander.

ad 2. Um zu zeigen, daß der Effekt der räumlichen Konkurrenz auch gedämpfter als bei Punktmuster 'Johnston' auftreten kann, wird das durch die 24 Versandschwerpunkte der süddeutschen Verkehrsbezirke (Baden-Württemberg/Bayern) gebildete Punktmuster benutzt (Abb. 14). Es wird zunächst einmal nur das Punktmuster betrachtet, so daß die VB-Grenzen durch jene der Thiessen-Polygone ersetzt sind. Wendet man auf dieses Untersuchungsgebiet das leicht modifizierte einfache Gravitationsmodell unter den Bedingungen der Stufe 2 an, erhält man die in Abb. 15 dargestellten (Modell-)Empfangsmengen als Maß für die räumliche Versandkonkurrenz an diesen Senken. Die Ähnlichkeit mit Abb. 12 ist vor allem in der Verteilung von Unter- und Überschätzungen gegeben. Auch hier haben Randsenken geringere Empfangsmengen als vorausgesetzt, zentrale Senken höhere. Darüber hinaus ist jedoch zu beachten, daß die Unter- und Überschätzungen nicht so extrem ausfallen wie bei Punktmuster 'Johnston'.

Tabelle 4 weist aus, daß für alle drei Streuungsmaße die Werte von 'Johnston' jene für 'Süd-VB' übertreffen. Zudem liegen die Extrema für 'Süd-VB' in dem durch die Extrema von 'Johnston' gebildeten Intervall.

Tabelle 4

Statistische Kenngrößen der räumlichen Versandkonkurrenz bei den Punktmustern 'Johnston' und 'Süd-VB'

Punktmuster Statist. Kenngröße		
	Süd-VB	Johnston
Arithmet. Mittel	1,00	1,00
Standardabweichung	0,31	0,36
Maximum	1,57	1,68
Minimum	0,47	0,46
Spannweite	1,10	1,22
Median	1,08	1,06
Interquartil-Range	0,50	0,63

Abb. 14 Punktmuster 'Süd-VB' : Thiessen-Polygone

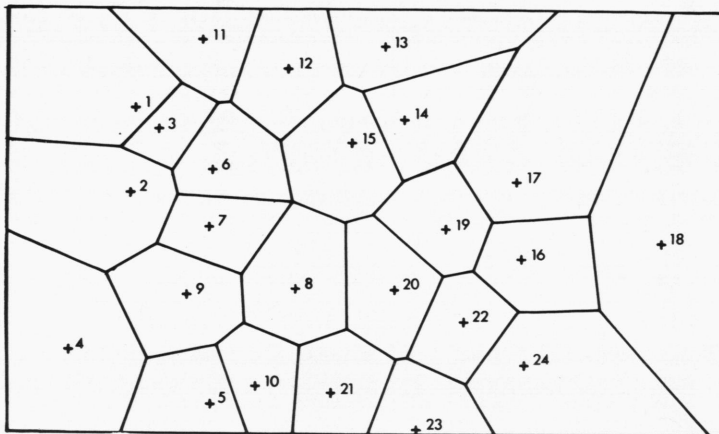
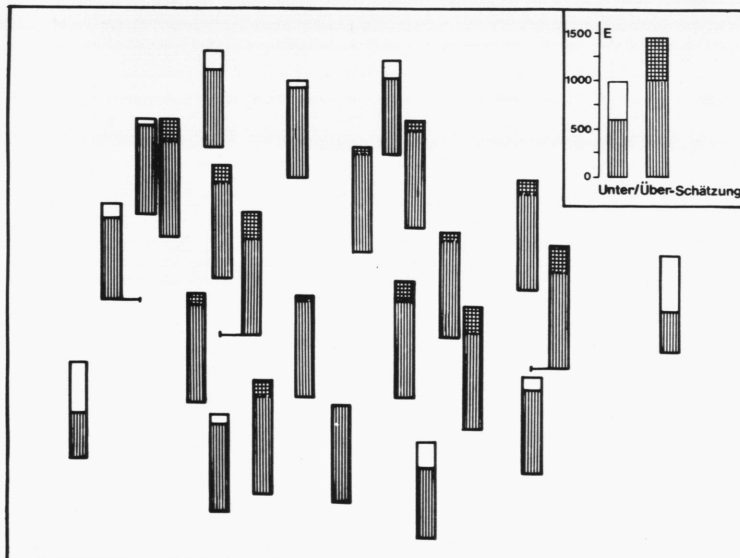


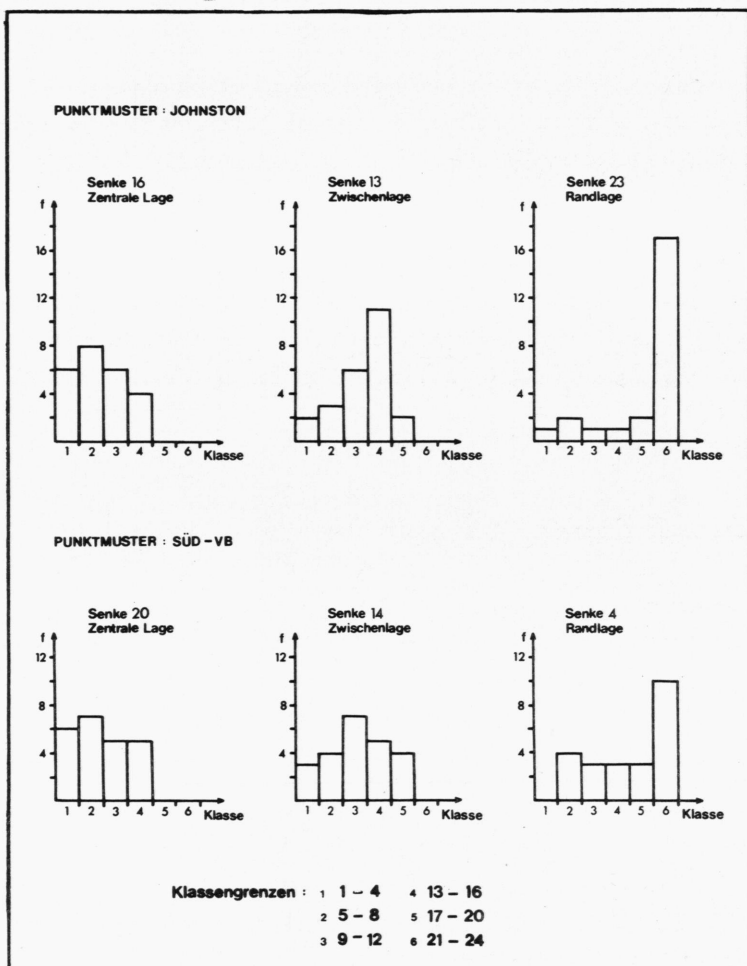
Abb. 15 Punktmuster 'Süd-VB'; ordinale Entfernungen Stufe 2; einfaches Gravitationsmodell: Fehlschätzungen der Empfangsmengen



Kartographie E. Ardelean

Diese Abschwächung des Effektes der räumlichen Konkurrenz kann nur auf Eigenschaften des Punktmusters 'Süd-VB' zurückgeführt werden. Hier bietet sich aufgrund der Herleitung der räumlichen Konkurrenz die gleichmäßigere Punktdichte bei 'Süd-VB' an. Um diese Vermutung zu überprüfen, seien je drei Senken gleicher relativer Lage innerhalb der Punktmuster in ihrer ordinalen Empfangs-Entfernungsverteilung einander gegenübergestellt (Abb. 16).

Abb. 16 Ordinale Versandentfernungsverteilung in Abhängigkeit von Punktmuster und relativer Lage



Kartographie E. Ardelean

Zunächst fällt auf, daß die Verteilung der Häufigkeiten der auf die Klassen entfallenden Entfernungen bei 'Süd-VB' wesentlich gleichmäßiger ist als bei 'Johnston'. Dies gilt für alle relativen Lagen. Damit nähern sich die Empfangs-Entfernungsverteilungen der Senken bei 'Süd-VB' jener Gleichverteilung an, bei der - Existenz im gesamten Untersuchungsgebiet vorausgesetzt - keine räumliche Konkurrenz auftreten würde. Zieht man jetzt noch die Wirkung der Entfernungsfunktion in Betracht, die mit wachsender Entfernung - je nach Exponent - abfällt, dann ist klar, daß den Häufigkeiten der ersten zwei Klassen die größte Bedeutung für das Ausmaß der räumlichen Versandkonkurrenz zukommt. Fehlen in diesen Klassen - gemessen an Gleichverteilung - viele Entfernungen, was bei randlichen Punkten der Fall ist, da sie i.a. wenige direkte Nachbarn haben, dann sinkt die räumliche Versandkonkurrenz ab. Umgekehrt steigt sie bei Überbelegung dieser Klassen. Letzterer Fall tritt bei zentral gelegenen Senken mit vielen direkten Nachbarn auf.

Wenn also die Punktdichte von 'Süd-VB' gleichmäßiger ist als bei 'Johnston', dann haben randliche Senken mehr Quellen in nächster Nähe; andererseits konzentrieren sich bei zentralen Punkten die Empfangs-Entfernungen nicht auf die ersten beiden Klassen.

Damit scheint sich folgendes zu ergeben:

Die räumliche Konkurrenz verändert sich über die Fläche von außen nach innen, und zwar steigend; der Anstieg ist um so geringfügiger, je geringer die Variation der Punktdichte.¹

1 Auf Abweichungen von dieser Feststellung bei lokalen Punktdichteveriationen wird in Kap. 3 bei Untersuchung des Punktmusters 'Süd-VB' eingegangen.

2.4 ZWEI EXTREME PUNKTMUSTER

Um die weiteren Untersuchungen so allgemein wie möglich zu halten und um die Klärung der Frage der Übertragbarkeit zu ermöglichen, werden zu diesen beiden Punktmustern hinsichtlich der Variation der Punktdichte Idealtypen gesucht. Schaut man sich die Thiessen-Polygone an oder berechnet sich als Maß der Punktstreuung die zugehörigen 'nearest-neighbour-Indizes' (Tabelle 5), so zeigt sich, daß die Verteilung der Verkehrsschwerpunkte in Süddeutschland zum Hexagonalmuster tendiert und durch dieses ersetzt wird.

Tabelle 5

Nächster-Nachbar-Index für die verschiedenen Punktmuster

Muster	Anzahl Punkte	Fläche	D _{emp}	D _{theor}	R
Hexagonal	24	3,075	0,281	0,179	1,569
Süd-VB	24	250,115	1,943	1,614	1,204
Johnston	25	28,949	0,613	0,538	1,140
Verzerrung	24	36,858	0,719	0,620	1,160

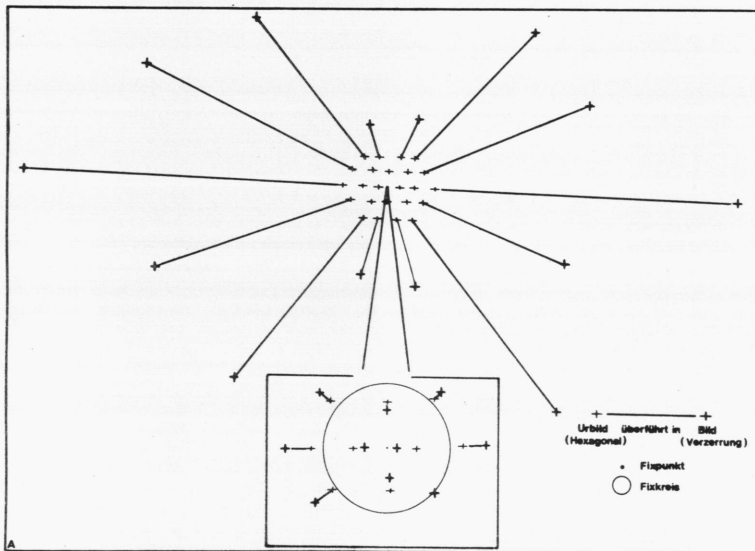
Würde ein völlig regelmäßiges Muster verwandt, wäre eine eindeutige ordinale Entfernungsbestimmung nicht möglich, hat doch jeder zentrale Punkt sechs gleichweit entfernte Nachbarpunkte, die alle die ordinale Entfernung 1 oder 3,5 oder 6 erhalten müßten. Deshalb kommt hier ein geringfügig abgeändertes Muster zur Anwendung, wobei immer noch zwei nahezu gleiche (reale) Entfernungen ordinal einen Unterschied von 5 Entfernungseinheiten aufweisen können (Abb. 21).

Als anderes Extrem ist ein Punktmuster zu wählen, bei dem die charakterisierenden Werte der räumlichen Konkurrenz stark variieren. Dies wäre hinsichtlich des Johnston-Musters dann zu erreichen, wenn eine Abnahme der Punktdichte vom Zentrum zum Rand erzielt würde. Nun bringt es Vorteile, ein solches Punktmuster aus dem Hexagonalmuster abzuleiten,

- können doch Original- und Bildpunkte zwar nicht in ihrer absoluten, jedoch in ihrer relativen Lage miteinander identifiziert werden;
- bleiben Nachbarschaftsverhältnisse weitgehend erhalten.

Zur Motivation der Konstruktionsidee sei daran erinnert, daß Hägerstrand [99] (vgl. auch Tobler, [244]) die logarithmische Transformation u.a. zur Lösung des alten kartographischen Problems benutzt, mehr Platz für Signaturen im Zentrum einer Punkt-agglomeration zu schaffen. Was also benötigt wird, ist eine umgekehrte Transformation, die hier vorgestellt wird: die exponentielle Transformation [*, M 2].

Abb. 17 Exponentielle Transformation des Hexagonalmusters



- Vorgehen: (i) Man wählt einen Mittelpunkt M und einen Radius r , wobei M nicht notwendigerweise dem Punkt-muster angehören muß.
- (ii) Innerhalb eines Kreises um M mit Radius r werden die darin befindlichen Punkte (des Hexagonal-musters) radial zum Mittelpunkt bewegt (Kon-traktion), und zwar vom Mittelpunkt nach außen mit abnehmender Stärke.

- (iii) Alle Punkte, die auf dem Kreis um M mit Radius r liegen, bleiben in ihrer Lage unverändert (Fixkreis, Fixpunkte).
- (iv) Die außerhalb des Kreises gelegenen Punkte werden zentrifugal bewegt (Dehnung).

Wähle als Mittelpunkt den Mittelpunkt des Hexagonalmusters (vgl. Abb. 17). Dann kann aus der offensichtlichen Punkt- und Achsensymmetrie abgeleitet werden, daß sich eine Reihung der Punkte nach Durchschnittsentfernungen nach Anwendung der exponentiellen Transformation nicht verändert. Bei Verwendung dieses Kriteriums zur Beurteilung der relativen Lage eines Punktes ergibt sich, daß diese vor und nach der Transformation konstant bleibt. Diese Aussage bedarf jedoch einer Ergänzung. Die schon angesprochene Reihung bleibt gleich, nicht jedoch die Verteilung der Werte der Durchschnittsentfernungen auf der Zahlengeraden. Hier könnten sich für übergeordnete Typen der relativen Lage wie z.B. 'zentral', 'Zwischenlage' und 'randlich' neue Gruppierungsmöglichkeiten ergeben. Außerdem verändert sich die Reihung der Punkte nach Standardabweichungen der Entfernungen, was Folgen für die räumliche Konkurrenz hat.

In Abb. 18 sind die erwähnten Reihungen der Punkte vor und nach der Transformation ersichtlich. Geringfügige Umordnungen bei Durchschnittsentfernungen lassen sich dadurch begründen, daß vom leicht modifizierten Hexagonalmuster ausgegangen wurde, so daß die Symmetrieeigenschaften nur angenähert erfüllt sind. Wegen der Punktkonzentration im Zentrum haben nach der Transformation nicht mehr zentral gelegene Punkte die niedrigste Streuung, sondern Punkte der randnahen Zwischenlage. Ein Vergleich ausgewählter statistischer Parameter aller vier Punktmuster weist aus, daß es sich in der Tat um eine Einordnung der Punktmuster 'Johnston' und 'Süd-VB' hinsichtlich der Variation der Punktdichte zwischen zwei Extreme handelt (Tab.6/Abb.19).

Abb. 18 Umordnung der statistischen Parameter der (realen) Versandentfernungsverteilung bei Übergang von 'Hexagonal' zu 'Verzerrung'

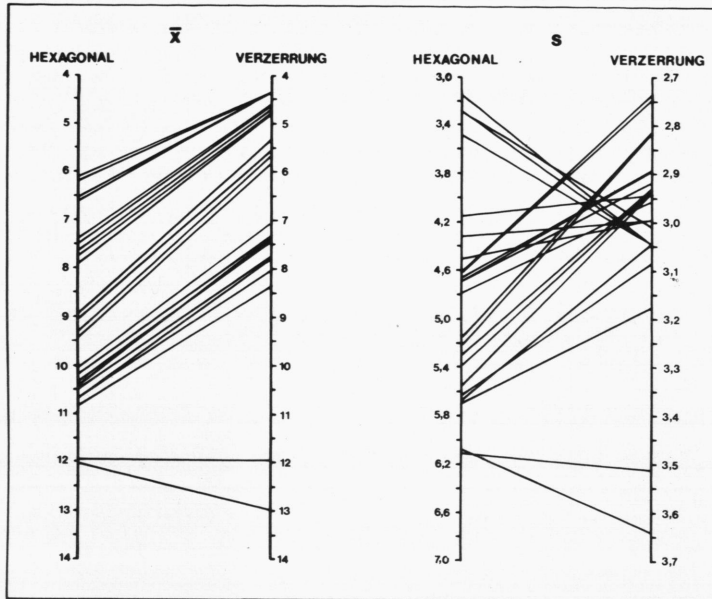


Abb. 19 Reihung der Punktmuster nach Variation der Punktdichte

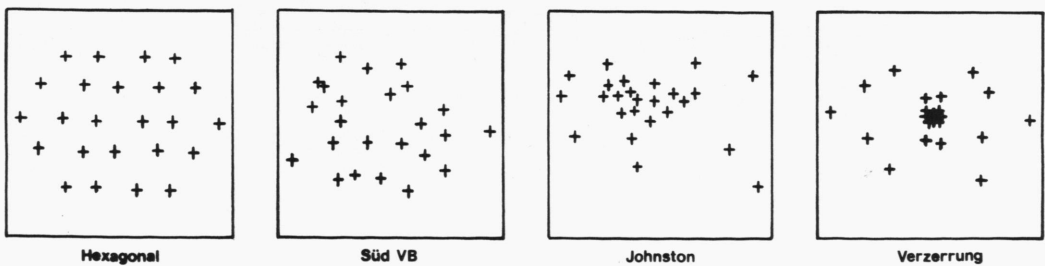


Tabelle 6

Punktdichtevariationen, beurteilt an der Belegung von Entfernungsklassen für die vier Punktmuster bei realer und ordinaler Entfernungsmessung

Muster:	Ordinale Entfernungen				Reale Entfernungen			
	Hex	Süd	Johnst	Verz	Hex	Süd	Johnst	Verz
<u>1.Klasse</u>								
\bar{x}	4	4	4	4	4,6	3,2	7,3	6,4
s	1,6	1,7	2,3	2,3	1,3	1,4	4,6	4,4
v	0,4	0,4	0,6	0,6	0,3	0,4	0,6	0,7
max	7	7	7	7	6	5	13	15
min	2	0	1	0	3	0	0	0
<u>6.Klasse</u>								
\bar{x}	3	3	4	3	0,4	0,3	0,5	0,3
s	3,8	4,0	6,4	5,5	0,9	0,9	1,0	0,7
v	1,1	1,3	1,6	1,8	2,1	2,6	2,1	2,6
max	13	14	22	19	3	4	4	1
min	0	0	0	0	0	0	0	0

1.Klasse: 1,00 - 4,66 für Muster Hex, Süd, Verz und reale Entf.
 1,00 - 5,11 für Muster Johnst und reale Entfernung

6.Klasse: 19,35 - 23,01 für Muster Hex, Süd, Verz und reale Entf.
 21,04 - 25,01 für Muster Johnst und reale Entfernung

1.Klasse: 1,00 - 4,99 für alle Muster und ordinale Entfernung

6.Klasse: 21,00 - 25,00 für alle Muster und ordinale Entfernung

Als Hinweis für die Gleichmäßigkeit der Punktdichte kann die Variation der Belegung der 1. und 6.Klassen bei realen und ordinalen Entfernungen gesehen werden. Bei ordinalen Entfernungen ergibt sich ein Anstieg des Variationskoeffizienten v von 'Hex' über 'Süd', 'Johnston' zu 'Verzerrung'. Dieser ist auch für reale Entfernungen für die 1.Klasse nachweisbar, und zwar in einem Ausmaß, welches die unterschiedlichen Stärken der Punktdichtevariationen besser widerspiegelt. Wie schon geschehen, wird das durch exponentielle Transformation des Hexagonalmusters gewonnene Punktmuster als 'Verzerrung' bezeichnet.

Noch ist nicht untersucht, in welchem Maß sich der Effekt der räumlichen Konkurrenz in den beiden Idealfällen bemerkbar macht. Bevor hierauf eingegangen wird, soll eine Gruppierung der Punkte der beiden Muster nach ihrer relativen Lage vorgenommen werden. Es bietet sich an, die Gruppierung für beide Punktmuster gleich zu wählen (Abb. 20), wobei bei der Zuordnung der Punkte sowohl die Durchschnittsentfernung als auch die Nachbarschaftsverhältnisse (Thiessen-Polygone) ausschlaggebend waren. Es besteht kein Zweifel, daß die Gruppe 'Zwischenlage' heterogen ist und deshalb bei Bedarf in die zwei Untergruppen 'zentrumsnahe Zwischenlage' und 'randnahe Zwischenlage' aufgespalten wird.

Abb. 20 Ideale Punktmuster: Gruppierung der Punkte nach relativer Lage

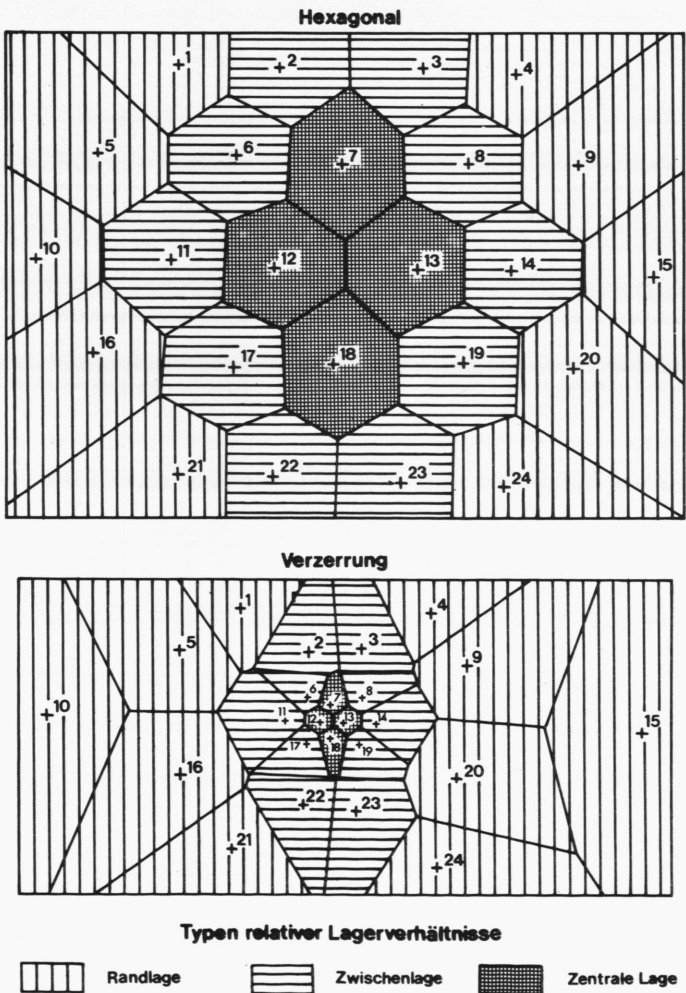
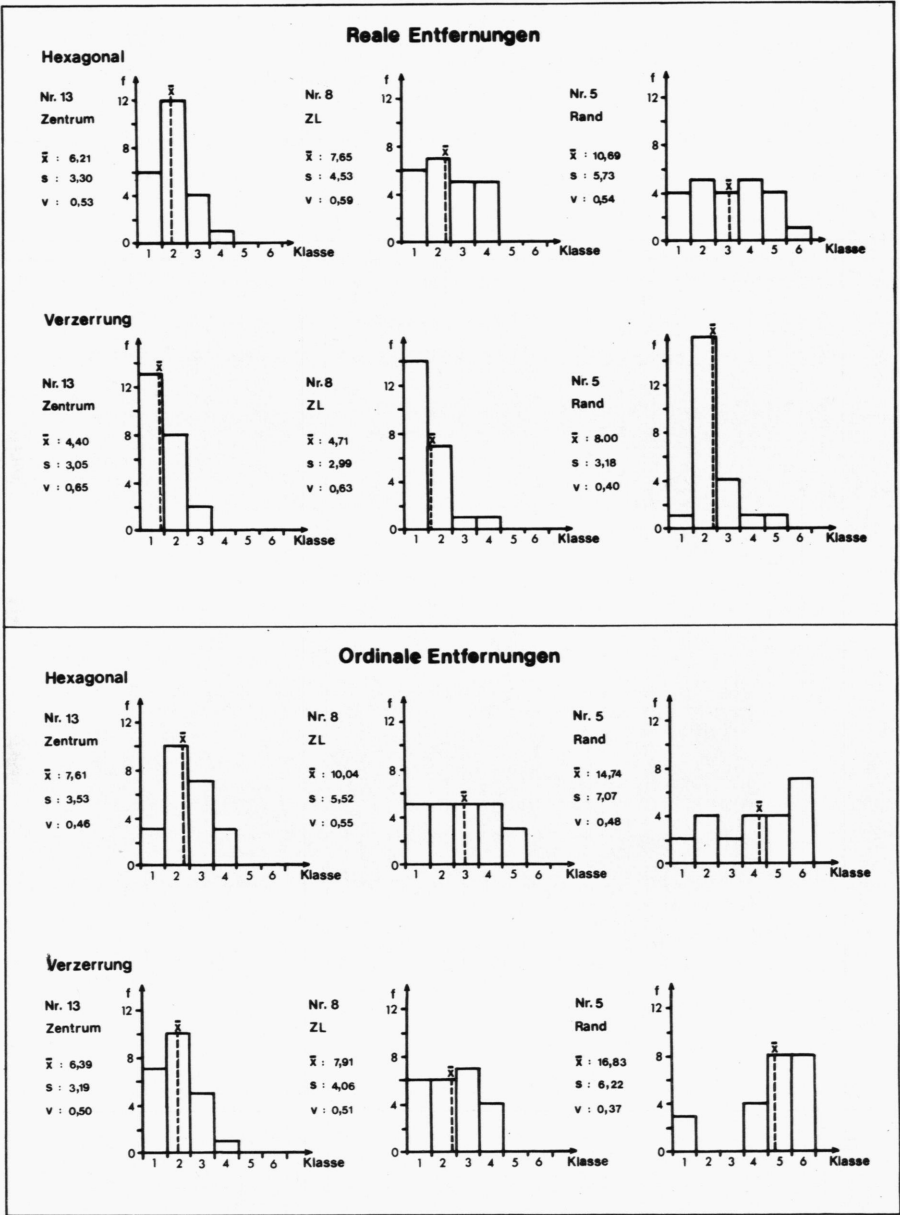


Abb. 21 Ideale Punktmuster: Versandentfernungsverteilung in Abhängigkeit von relativer Lage für reale und ordinale Entfernungen



Klassengrenzen

1	1,00 - 4,65	3	8,33 - 11,99	5	15,67 - 19,32
2	4,66 - 8,32	4	12,00 - 15,66	6	19,33 - 23,00

Für je einen Punkt aus den drei Gruppen ist die Entfernungsverteilung in Abb. 21 wiedergegeben. Man erkennt an den Beispielen für 'Hexagonal' den Einfluß der gleichmäßigen Punktdichte und der Endlichkeit des Untersuchungsgebietes auf die Häufigkeitsverteilungen. Der Übergang zu 'Verzerrung' ist gekennzeichnet durch eine Erhöhung der Punktdichte im Zentrum bei gleichzeitiger Erniedrigung im Randbereich. Hierdurch kommt es zur Herausbildung von Maxima, die je nach relativer Lage in der ersten oder den folgenden Klassen zu finden sind.

Um an die vorausgegangenen Berechnungen der räumlichen Konkurrenz anzuknüpfen, wird auch für die extremen Punktmuster die ordinale EM herangezogen. Betrachtet man zunächst wieder die Entfernungsverteilungen der ausgewählten Punkte als Senken (Abb. 21), so überrascht die weitgehende Übereinstimmung von 'Hexagonal' und 'Verzerrung'. Hier wird wie bei Tabelle 6 deutlich, daß bei annähernd gleicher relativer Lage die unterschiedlichen Punktdichtevariationen der beiden Punktmuster durch die "ordinale" Perzeption stark abgeschwächt reproduziert werden.

Jedoch können sehr wohl Unterschiede in der räumlichen Variation des Effektes der räumlichen Konkurrenz festgestellt werden (Abb. 22, 23). Gemeinsam ist beiden Verteilungen die regelhafte Abnahme des Effektes vom Zentrum über Zwischenlage zum Rand. Die Symmetrieeigenschaften der Punktmuster lassen dies besonders deutlich hervortreten. Der Abfall bei Punktmuster 'Hexagonal' ist jedoch wesentlich gedämpfter als bei 'Verzerrung'.

Abb. 22 Punktmuster 'Hexagonal'; ordinale Entfernungen Stufe 2;
einfaches Gravitationsmodell: Fehlschätzungen der Empfangsmengen
(räumliche Konkurrenz)

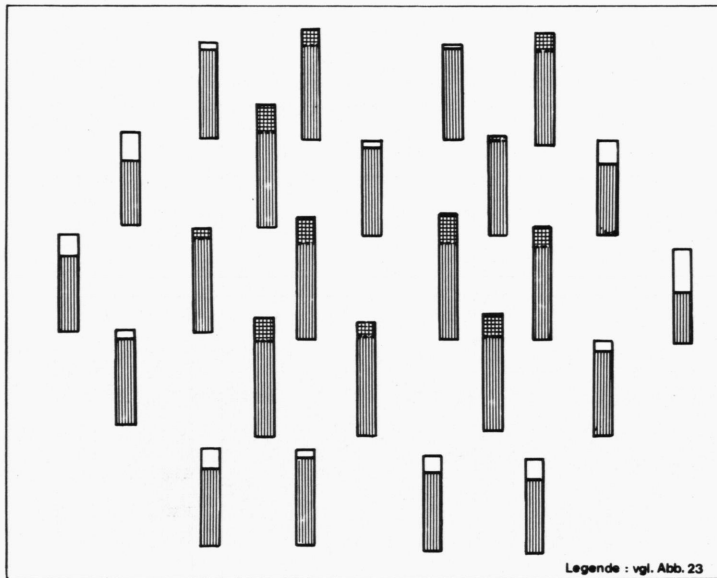


Abb. 23 Punktmuster 'Verzerrung'; ordinale Entfernungen Stufe 2;
einfaches Gravitationsmodell: Fehlschätzungen der Empfangsmengen
(räumliche Konkurrenz)

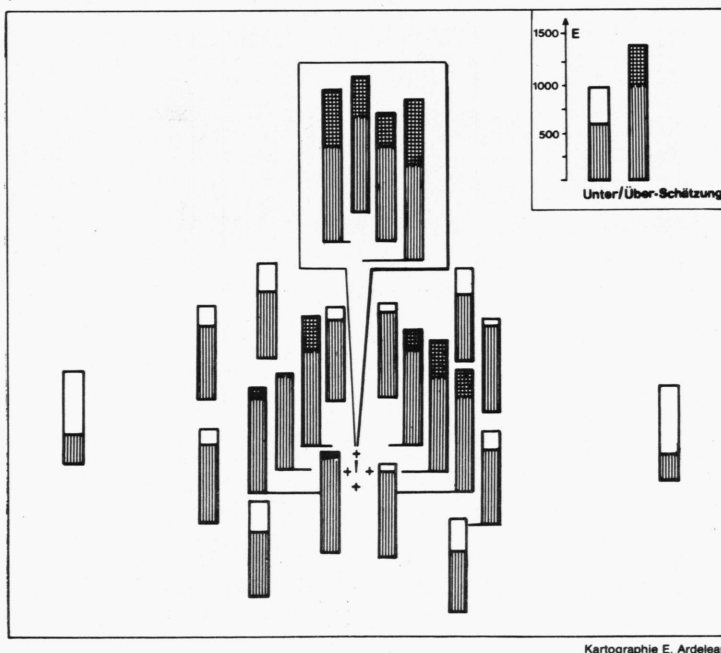
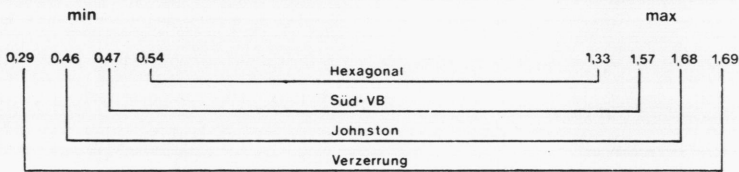


Tabelle 7

Statistische Kenngrößen der räumlichen Versandkonkurrenz bei allen Punktmustern

Punktmuster Statist. Kenngröße	Hexag.	Süd-VB	Johnst	Verz
Arithmet.Mittel	1,00	1,00	1,00	1,00
Standardabweich.	0,22	0,31	0,36	0,34
Maximum	1,33	1,57	1,68	1,69
Minimum	0,54	0,47	0,46	0,29
Spannweite	0,79	1,10	1,22	1,40
Median	0,96	1,08	1,06	0,92
Interquartil-Range	0,41	0,50	0,63	0,61

Einschachtelungstendenz



In Tabelle 7 sind einige statistische Kenngrößen der Empfangsmengenabweichungen als Maß der räumlichen Versandkonkurrenz für alle vier Punktmuster zusammengestellt. Bei gleichem arithmetischem Mittel nehmen die Standardabweichungen fast monoton von 'Hexagonal' nach 'Verzerrung' zu. Ähnliches gilt für den Interquartil-Abstand. Deutlich ist die Einschachtelungstendenz der extremen Werte zu sehen: die erzielten Empfangsmengen bei 'Hexagonal' liegen ganz in dem Wertebereich derjenigen von 'Süd-VB' usw.

Es kann gefolgert werden, daß die Variation der räumlichen Konkurrenz abhängig ist von der Variation der Punktdichte. Dieser Zusammenhang läßt sich mathematisch mit Hilfe der Taylor-Ent-

wicklung bestätigen [*, M 3.1]. Damit sind auch Sonderentwicklungen, wie sie z.B. bei Senke 3 von 'Süd-VB' auftreten (vgl. Abb. 15) erklärbar.

2.5 FORM DER AUSGLEICHSAKTOREN A,B

Ziel der nachfolgenden Überlegungen ist es, die Ausgleichsfaktoren A,B des erweiterten Gravitationsmodells so zu bestimmen, daß der Effekt der räumlichen Konkurrenz kompensiert wird und damit die Nebenbedingungen (1), (2) erfüllt werden.

Zur Einführung des Begriffes der räumlichen Konkurrenz führte der Umstand, daß sich unter Annahme räumlich gleichverteilter Versand- und Empfangsmengen letztere nach Anwendung des leicht modifizierten einfachen Gravitationsmodells räumlich differenzierten. Es liegt nun nahe, diese sich aus der relativen Lage der jeweiligen Senke ergebenden Abweichungen gleich im Modell mit zu berücksichtigen. D.h., man wählt die B-Faktoren so mit Werten um 1, daß

- bei großer räumlicher Konkurrenz $B < 1$
- bei Fehlen " " $B = 1$
- bei kleiner " " $B > 1$.

Unter Voraussetzung gleicher Versand- und Empfangsmengen im System ergäbe sich für die Idealfälle eine klare räumliche Verteilung der B-Werte:

randlich	Werte über 1
Zwischenlage	Werte um 1
zentral	Werte unter 1.

Ihre Wirkung bei der modellhaften Bestimmung des Flusses von einer Quelle zur Senke j läge darin,

- daß von vornherein die relative Lage der Senke j und die sich daraus ergebende räumliche Konkurrenz in Betracht gezogen wird;

- somit die von allen Quellen zur j-ten Senke versandten Mengen - wie sie vom Modell berechnet werden - aufeinander abgestimmt sind.

Damit ist klar, daß der Kehrwert des Wertes der räumlichen Konkurrenz das Gewünschte leistet:

$$(17) \quad B_j = \frac{1}{\sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^n V_l d_{lj}^{-\alpha}} \quad j = 1, \dots, n.$$

Betrachtet man noch einmal Beziehung (9), so beeinflussen die B bei der Modellberechnung die Empfangsmengen E dergestalt, daß die E randlich größer, zentral kleiner wirken.

Aber das ist nur der erste Schritt, der räumlichen Konkurrenz zu begegnen. Denn man kann sich leicht vorstellen, daß mit einer "Quasi-Veränderung" der Empfangsmengen im Raum die Versandmengen aus dem Lot geraten. Also muß der Effekt der räumlichen Konkurrenz - genauer: der Effekt der Empfangskonkurrenz - auch hier kompensiert werden und führt analog zur Bestimmung der A:

$$(18) \quad A_i = \frac{1}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n E_k d_{ik}^{-\alpha}} \quad i = 1, \dots, n.$$

Hierbei ist zu bemerken, daß bei Benutzung der ordinalen Entfernungsmatrix die so definierten A_i für alle Quellen gleich sind, da die Entfernungsverteilungen der Quellen übereinstimmen und nach Voraussetzung die Empfangsmengen räumlich gleichverteilt sind.

Eine Folge der Abgeschlossenheit des Systems und der Funktionalität der Beziehungen ist es, daß letztlich der eben ausgeführte Ausgleich der Empfangskonkurrenz ebenfalls wieder Auswirkungen auf die B hat, die ja auch von den Versandmengen abhängig sind. Dies wird durch folgenden Ansatz berücksichtigt:

2.6 UNTERSUCHUNG DES RÄUMLICHEN KONKURRENZMODELLS AUF STUFE 2

Die mit Einführung der Ausgleichsfaktoren vorgenommene Ergänzung des einfachen Gravitationsmodells wirft eine Reihe von Fragen auf, die anhand von Anwendungen des räumlichen Konkurrenzmodells auf die beiden ausgegliederten extremen Punktmuster zu klären versucht werden:

- (i) Welche räumliche Verteilung der Ausgleichsfaktoren ist zu beobachten? Stimmt sie für B "reziprok" mit den bei der Untersuchung der räumlichen (Versand-) Konkurrenz festgestellten regelhaften Abweichungen der Empfangsmengen überein?
- (ii) Welchen Einfluß üben die Ausgleichsfaktoren auf die regionale Verkehrsverteilung aus (Betrag und Richtung)?
- (iii) Als Folge von (ii): Welche Veränderungen der Präferenzen (soweit vergleichbar: gegenüber dem einfachen Modell) treten auf?

Alle drei Fragenkreise werden unter den Voraussetzungen der Stufe 2 zunächst für die ordinale Entfernungsmatrix bearbeitet, da - wie schon begründet - die A_i räumlich gleichverteilt sind und somit die Einflüsse der B isoliert betrachtet werden können.

2.6.1 Räumliche Verteilung der Ausgleichsfaktoren

Unter Benutzung der vorgenommenen Gruppierung (Rand, Zwischenlage, Zentrum) ergibt sich bei Modellanwendung auf 'Hexagonal', daß

mit Ausnahme von Senke 4 die randlichen Punkte
Werte über 1,

Punkte in Zwischenlage und zentrale Punkte
Werte unter 1

aufweisen (vgl. Abb. 24). Die schon herausgestellte "ordinale Perzeption" führt gerade bei 'Hexagonal' dazu, daß sich die Zentren nicht so gut von den zentrumsnahen Zwischenlagen abheben lassen.

Abb. 24 Punktmuster 'Hexagonal'; ordinale Entfernungen Stufe 2:
Verteilung der B-Werte

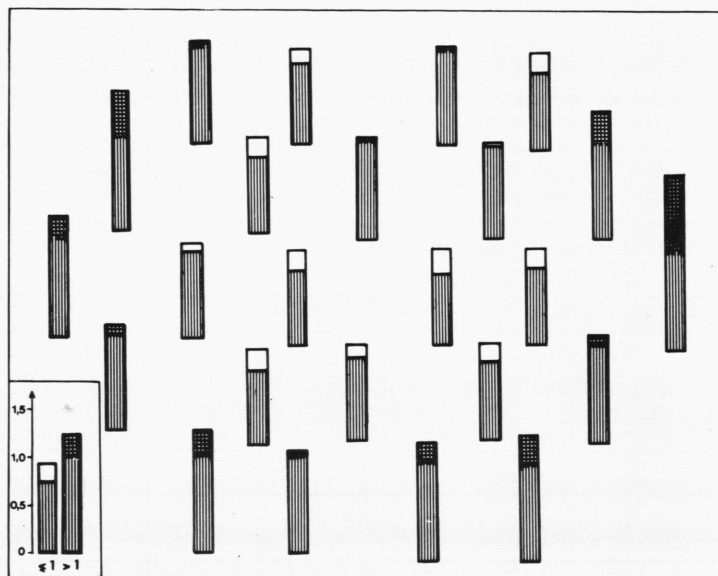
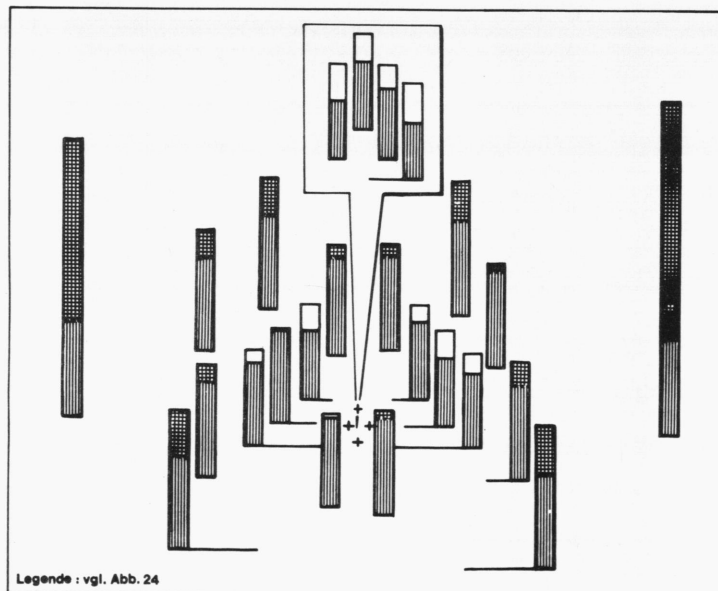


Abb. 25 Punktmuster 'Verzerrung'; ordinale Entfernungen Stufe 2:
Verteilung der B-Werte



Anders beim Idealfall 'Verzerrung'. Hier können die drei Gruppen hinsichtlich der Werte für die Ausgleichsfaktoren bis auf drei Ausnahmen getrennt werden:

Randpunkte (einschl. 2 und 3)	> 1,1	
Zwischenlage (ohne 2 und 3; mit 13)	0,7 - 1,1	
Zentrumspunkte (ohne 13)	< 0,7	(vgl. Abb.25).

Ein Vergleich der Profile durch die Punktmuster Hexagonal bzw. Verzerrung (Abb. 26) zeigt, daß wegen der Konstanz der A die B_j -Werte gerade genau reziprok der jeweils vorherrschenden räumlichen Konkurrenz verteilt sind. Und zwar vom Rand zum Zentrum von Werten über 1 bis Werte unter 1 abnehmend. Die Streuung der B_j -Werte sowie ihre Spannweite nehmen von 'Hexagonal' über 'Süd-VB', 'Johnston' bis 'Verzerrung' zu (vgl. Tabelle 8).

Tabelle 8

Statistische Kenngrößen der Werte des Ausgleichsfaktors B bei allen Punktmustern

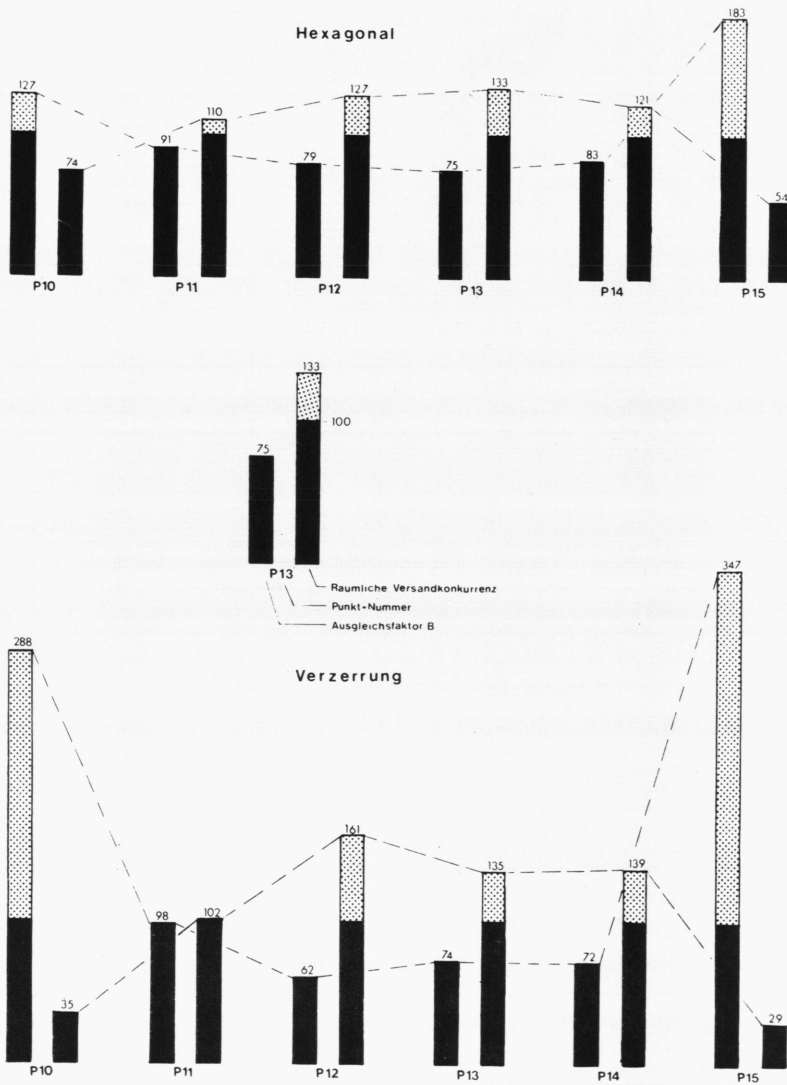
Punktmuster Statist. Kenngröße	Hexag.	Süd-VB	Johnst	Verz.
Arithmet.Mittel	1,06	1,12	1,16	1,20
Standardabweichung	0,27	0,42	0,49	0,68
Variationskoeff.	0,25	0,38	0,42	0,56
Maximum	1,84	2,11	2,16	3,47
Minimum	0,75	0,64	0,60	0,59
Spannweite	1,09	1,47	1,56	2,88
Median	1,04	0,94	0,95	1,09
Interquartil-Range	0,43	0,60	0,60	0,62

Damit ergibt sich im Vergleich zur Verkehrsverteilung des einfachen Gravitationsmodells, daß bei Anwendung des räumlichen Konkurrenzmodells

- die geringste Veränderung der VSM bei 'Hexagonal',
- die stärkste Veränderung der VSM bei 'Verzerrung'

zu erwarten ist.

Abb. 26 Ideale Punktmuster; ordinale Entfernungen Stufe 2: Veränderung von räumlicher Konkurrenz und Ausgleichsfaktor B im Profil Rand-Zentrum-Rand



Kartographie E. Ardelean

2.6.2 Einflüsse der Ausgleichsfaktoren auf die regionale Verkehrsverteilung

Nachfolgend wird zunächst einmal die Verteilung der modellhaft berechneten Verkehrsbeziehungen ohne Beachtung ihrer räumlichen Verteilung betrachtet. Gemäß der zugrunde liegenden Modellhypothese dient als Beurteilungsmaß der Verteilungen die Entropie. In einem zweiten Schritt wird der Raum in die Untersuchung mit einbezogen, wobei hier die Frage nach der Richtungsänderung der Verkehrsverteilung einer Quelle beim Übergang vom einfachen zum räumlichen Konkurrenzmodell im Vordergrund steht.

Für die Quellen 5, 8, 13 sind in Abbildung 27 die Versandverteilungen wiedergegeben, so wie sie bei Anwendung des einfachen Gravitationsmodells erhalten werden. Diese Verteilungen sind für alle Quellen und Muster gleich und ihre relative Entropie beträgt 0,87. Anders dagegen die Versandverteilungen bei Anwendung des räumlichen Konkurrenzmodells (vgl. Abb. 27). Zum einen zeigen sich räumliche Differenzierungen innerhalb eines Punktmusters, zum anderen unterschiedliche Abweichungen von der Verteilung des einfachen Modells und letztlich Ähnlichkeiten für gleiche relative Lagen im Vergleich der Punktmuster untereinander.

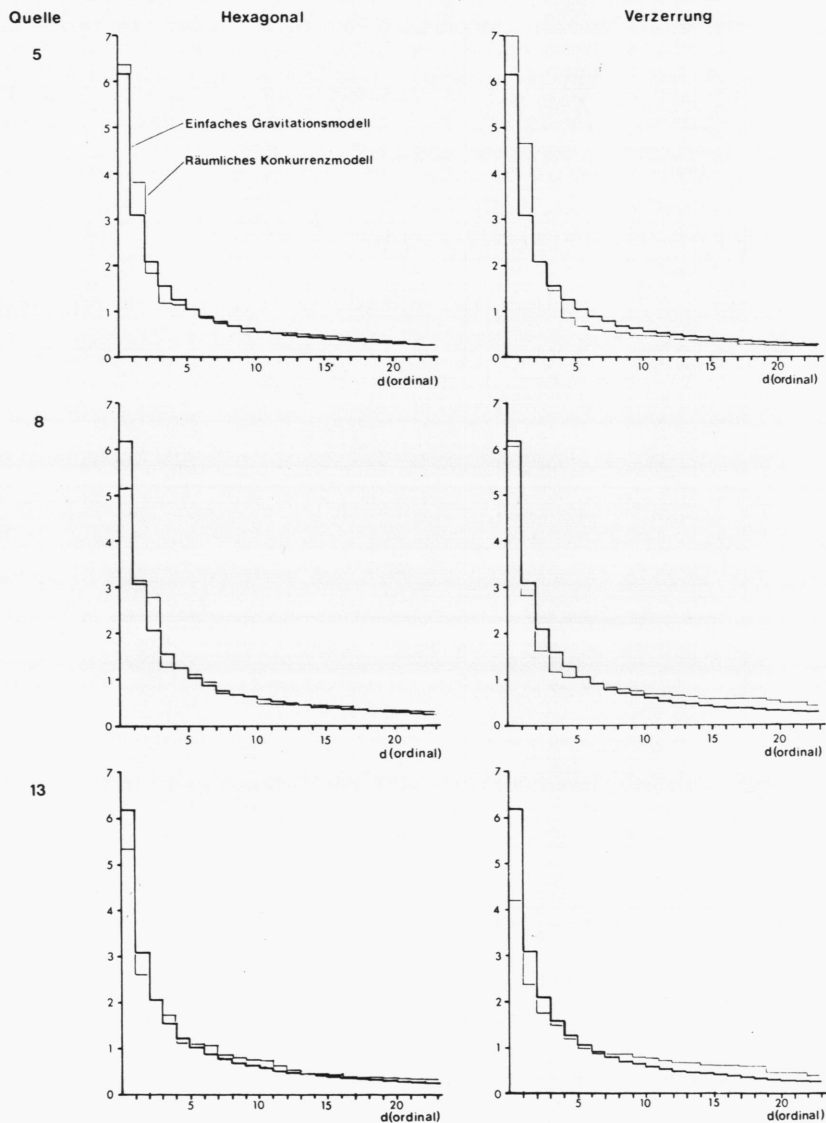
Betrachtet man zunächst die Schaubilder für 'Hexagonal' und charakterisiert die regionalen Unterschiede der Verkehrsverteilungen der ausgewählten Quellen durch Vergleich mit der Verkehrsverteilung beim einfachen Gravitationsmodell, so erhält man:

Die randlich gelegene Quelle 5 versendet zu den zwei nächstgelegenen Senken mehr, zu den in ordinalen Entfernungen 3-5 liegenden Senken weniger. Die weiteren Abweichungen liegen unter der Zeichengenauigkeit.

Die in (zentrumstnahe) Zwischenlage gelegene Quelle 8 vermindert den Verkehr zur nächstgelegenen Senke, erhöht ihn für die Senken in ordinaler Entfernung 2, 3, erniedrigt ihn für die 4.-nächste Senke und alterniert in ihrer Umverteilung weiter in höheren ordinalen Entfernungen.

Ähnlich verfährt die zentral gelegene Quelle 13, wobei im Unterschied zu Quelle 8 die Zuwächse für Ziele in ordinaler Entfernung 6-12 recht erheblich sind, so daß eine Annäherung an die Verkehrsverteilung des einfachen Modells erst in höheren ordinalen Entfernungen geschieht.

Abb. 27 Ideale Punktmuster; ordinale Entfernungen Stufe 2: Änderung der Versandverteilung bei Übergang vom einfachen Gravitationsmodell zum räumlichen Konkurrenzmodell in Abhängigkeit von der relativen Lage



Bei Übergang zu Punktmuster 'Verzerrung' ergeben sich insofern klarere Strukturen, als

die randliche Quelle in den ersten beiden Versandrelationen mehr, in den übrigen Relationen deutlich weniger versendet,

die Quellen 8 und 12 in den ersten sechs Relationen weniger, in den übrigen Relationen jedoch deutlich mehr als beim einfachen Gravitationsmodell versenden.

Um den verbal geführten Vergleich zu quantifizieren, wird für jede mit dem Konkurrenzmodell berechnete Verteilung die relative Entropie ermittelt.

Quelle	Hexagonal	Verzerrung
5	0,826	<u>0,795</u>
8	<u>0,857</u>	0,905
13	0,874	0,928

---: Lage der relativen Entropie 0,87
der Verteilung des einfachen
Gravitationsmodells

Es zeigt sich - was auch die Abbildungen 28, 29 für alle Punkte bestätigen - , daß sich mit Einführung der Ausgleichsfaktoren im Vergleich zum einfachen Modell

- randlich die Ungewißheit (der Quellen über ihre Verkehrsverteilung) verringert hat,
- in Zwischenlage um den Wert des einfachen Modells schwankt, wobei die Stärke der Streuung vom Punktmuster abhängig ist,
- zentral dagegen zugenommen hat.

Damit scheinen sich die Beziehungen der Randquellen zu bestimmten Senken im Vergleich zum einfachen Modell erheblich intensiviert, die von zentralen Quellen ausgehenden Beziehungen i.a. abgeschwächt zu haben, ja sogar in Richtung auf Gleichverteilung zielend. Wie ist das zu erklären?

Beim einfachen Modell verfügte jede Senke nach Voraussetzung auf Stufe 2 über die gleiche Empfangsmenge E, hing also die Ungewißheit einer Quelle über die nach einer Senke zu versendende Verkehrsmenge nur von der Entfernungsfunktion ab. Jetzt ergeben sich unter

dem Einfluß der Ausgleichsfaktoren Quasi-Veränderungen (B-E) in den Empfangskapazitäten. Gemäß der Modellkonstruktion wird relativ mehr zu den "vergrößerten" Senken versandt, relativ weniger zu den "verkleinerten".

Abb. 28 Punktmuster 'Hexagonal'; ordinale Entfernungen Stufe 2:
Relative Entropie der Versandverteilung der Quellen

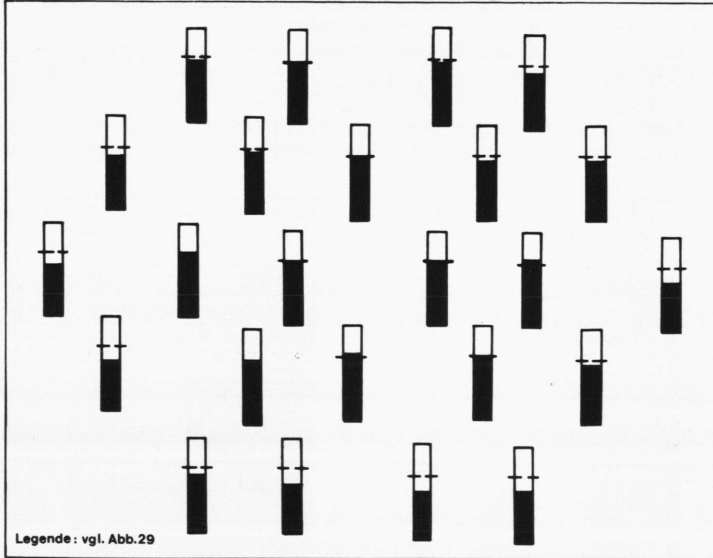
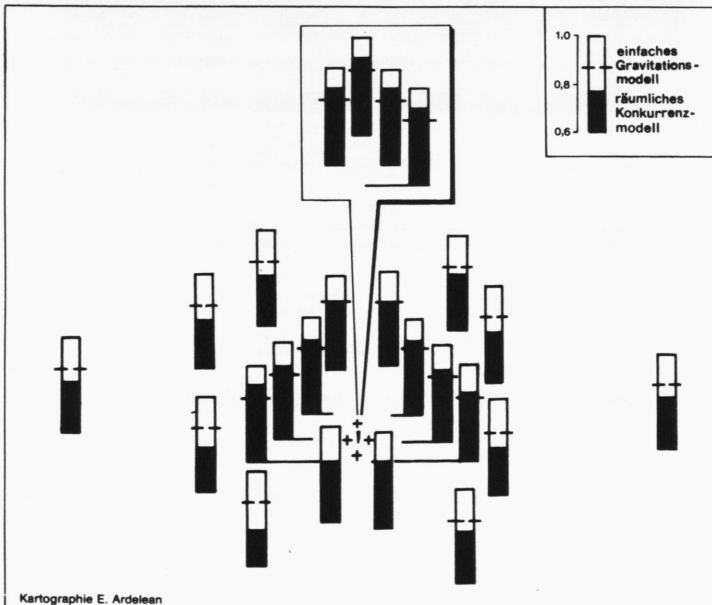


Abb. 29 Punktmuster 'Verzerrung'; ordinale Entfernungen Stufe 2:
Relative Entropie der Versandverteilung der Quellen unter einfachem
Gravitationsmodell und räumlichem Konkurrenzmodell



übersieht, müßte man erwarten, daß die Entropie der Verteilung sich zwar gegenüber dem alten Modell ändert, jedoch für das gesamte System gleich bleibt. Hier spielt aber die Form der Entfernungsfunktion und damit die relative Lage der Quelle eine entscheidende Rolle: nur die ersten Versandrelationen nach den nächstgelegenen Senken unterscheiden sich kräftig voneinander; je weiter die Entfernung, um so geringer die Variation der Funktionswerte und damit der Versandmengen. Damit sind für den Betrag der Entropie die Veränderungen der Aufnahmefähigkeit der nächstgelegenen Senken ausschlaggebend. Und hier gilt:

Für randliche Quellen und Quellen in randnaher Zwischenlage ist die Wahrscheinlichkeit am größten, daß sich unter ihren (nicht sehr zahlreichen) nächsten Nachbarn wieder randliche Senken befinden, deren Aufnahmefähigkeit unter dem Einfluß der B gewachsen ist, gleichzeitig aber auch Senken in Zwischenlage zu finden sind, welche in ihrer Aufnahmefähigkeit geschrumpft sind.

Das bedeutet: die Ungewißheit über die Versandverteilung vermindert sich, und zwar verstärkt, da die Veränderungen in den nahen Relationen am stärksten sind.

Im Inneren des Punktmusters vollziehen sich ebenfalls Veränderungen, jedoch für die einer zentralen Quelle benachbarten Senken recht gleichartig: unter dem Einfluß der B-Werte allgemeines Schrumpfen der Empfangskapazitäten. Zudem kompensieren aus der Sicht einer zentralen Quelle die Veränderungen der Empfangskapazitäten den Einfluß der Entfernungsfunktion auf die Verkehrsverteilung: je weiter man vom Zentrum zum Rand kommt, um so mehr wachsen mit den ordinalen Entfernungen die Quasi-Empfangsmengen, da der Schrumpfungsprozeß von innen nach außen abnimmt, um im Bereich des Randes, allerdings in relativ weiter ordinaler Entfernung, in einen Expansionsprozeß umzuschlagen, welcher für die zentralen Quellen wenig zu einer Verringerung der Ungewißheit beiträgt. So wird von zentralen Quellen im Vergleich zum einfachen Modell viel weniger an die umliegenden benachbarten Senken versandt, etwas mehr zu den Senken im Randbereich, womit die Tendenz zur Gleichverteilung ihre Erklärung findet.

Eine Erweiterung der Folgerungen aus der Modellhypothese im Hinblick auf eine regionale Differenzierung der Entropie-Maximierung scheint möglich und wird in 2.7 vorgenommen. Im Vergleich der Punktmuster variieren die Versandentropien bei 'Verzerrung' wesentlich stärker, da ja auch die B-Werte eine größere Streuung zeigten (vgl. Tab. 9).

Tabelle 9

Statistische Kenngrößen der relativen Entropie der Einzelversandverteilungen - alle Punktmuster -

Punktmuster Statist. Kenngröße	Hexag.	Süd-VB	Johnst.	Verz.
Arithmet. Mittel.	0,849	0,865	0,865	0,865
Standardabweichung	0,025	0,017	0,048	0,049
Variationskoeff.	0,029	0,020	0,056	0,057
Maximum	0,882	0,901	0,909	0,928
Minimum	0,805	0,834	0,754	0,791
Spannweite	0,077	0,067	0,155	0,137
Median	0,858	0,864	0,886	0,875
Interquartil-Range	0,049	0,023	0,070	0,092
Relative Entropie- differenz	0,165	0,148	0,159	0,158

Da die Entropieuntersuchung nur die Verschiebung innerhalb der Versandverteilungen der Quellen, nicht aber zugehörige Veränderungen der Reihung der Ziele nach Kontaktintensität aufdecken kann, muß eine Ergänzung erfolgen, die bei Beachtung des Raumes Veränderungen in der Richtungsorientierung sichtbar macht.

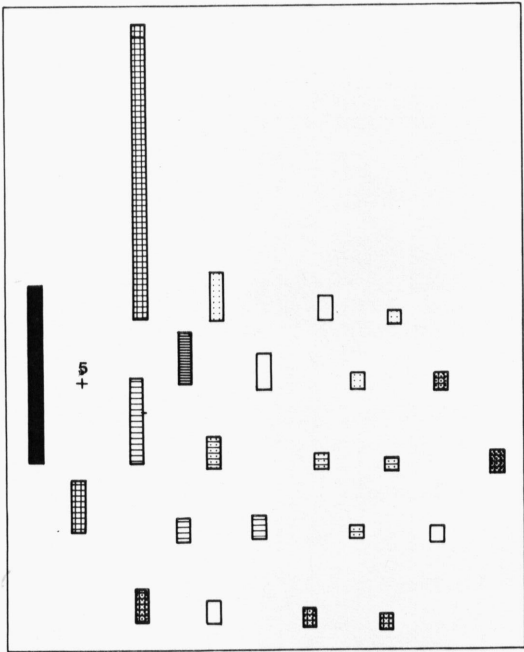
In Ergänzung zu Abb. 27 sind in Abb. 30 die räumlichen Versandverteilungen der Beispielquellen für beide Punktmuster wiedergegeben. Dabei ist der Vergleich mit dem einfachen Gravitationsmodell durch Angabe der Veränderungen der Versandmengen auf den Einzelrelationen ermöglicht. Diese Verschiebungen bedingen im folgenden Sinne Umorientierungen:

Ordnet man die Senken nach ihren von der jeweiligen Quelle empfangenen Verkehren, dann ist diese Ordnung beim einfachen Gravitationsmodell identisch mit einer Ordnung nach Entfernungen zur Quelle. Durch Übergang zum räumlichen Konkurrenzmodell ergeben sich - wie oben erwähnt - Verschiebungen in der Verkehrsverteilung, die zu einer anderen Reihung der Senken führen können.

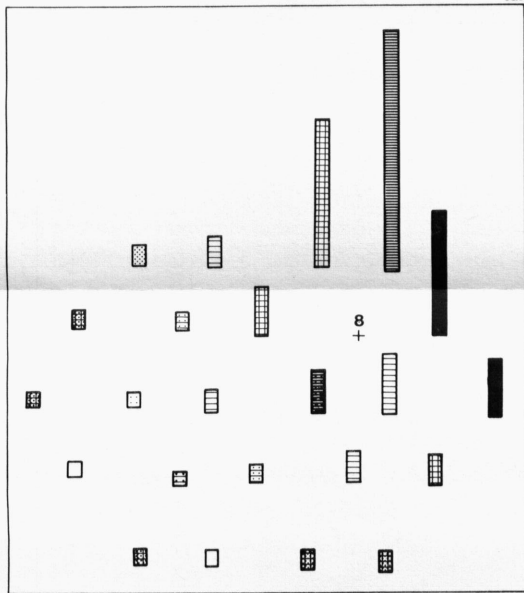
Beginnt man bei der Betrachtung mit 'Hexagonal', Quelle 5, so haben die zwei nächstgelegenen Senken ihren ohnehin großen Anteil am Gesamtversand der Quelle 5 noch erhöht, ohne daß es dadurch schon

Abb. 30 Ideale Punktmuster; ordinale Entfernungen Stufe 2: Räumliche Verteilung der Versandmengen der Quellen 5, 8, 13 unter Konkurrenzmodell mit Angabe der prozentualen Veränderung sowie der Umordnung der Zielreihenfolge gegenüber dem einfachen Gravitationsmodell

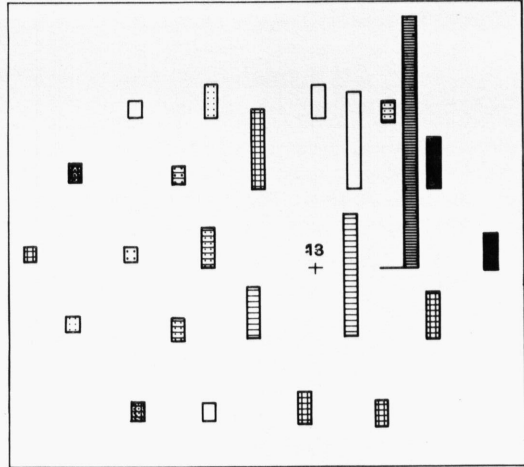
Hexagonal



30.1

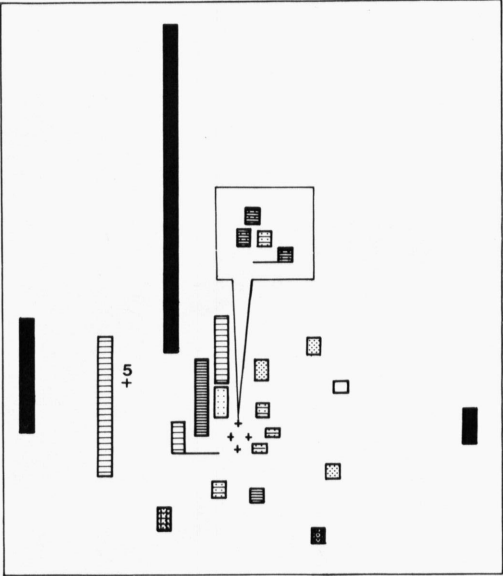


30.2

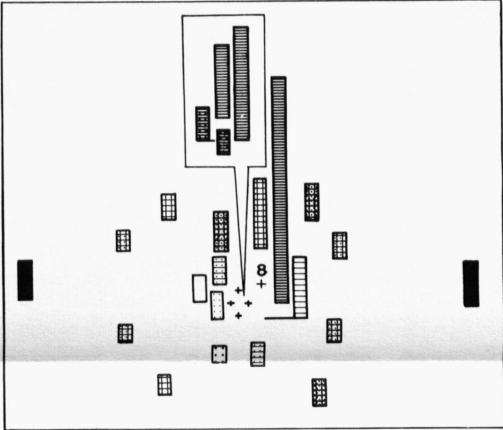


30.3

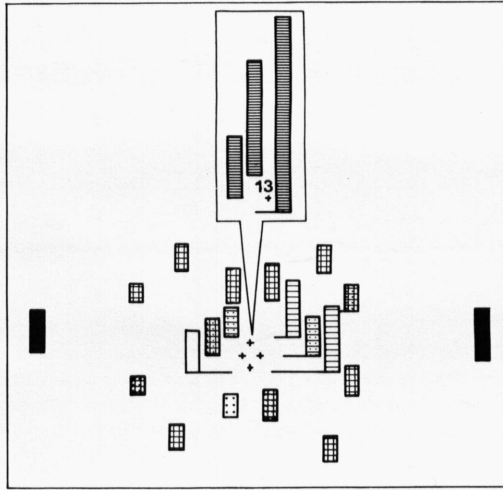
Verzerrung



30.4



30.5



30.6

		Veränderung Einzelversandmenge in Prozent des Gesamtversands der jeweiligen Quelle				
		< -1,25	-1,25 - -0,26	-0,25 - 0,25	0,26 - 1,25	> 1,25
Umordnung der Zielreihenfolge gegenüber einfachem Grav.-modell in Rangplätzen	< -6					
	-6					
	-2					
	-1					
	1					
	2					
	6					
> 6	6					
	> 6					

zu Umordnungen gekommen wäre. Zunahmen haben fast alle randlichen Senken zu verzeichnen, Abnahmen fast alle Senken der Zwischenlage und des Zentrums. Dabei sind die Verschiebungen so stark, daß randliche Senken ihre Position verbessern; Senken in Zwischenlage und im Zentrum fallen dagegen ab. Man beachte hier besonders das starke Vorrücken der Senke 15, jener Senke, die am weitesten von der Quelle 5 entfernt ist.

Bei den Versandverteilungen der Quellen 8 und 13 erhält man insofern ähnliche Ergebnisse, als Randpunkte im allgemeinen ihren Anteil am Gesamtversand erhöhen, was z.T. mit einem Vorrücken innerhalb der Ordnung begleitet ist, hingegen zentrale und in Zwischenlage gelegene Senken Anteilseinbußen hinnehmen müssen, ja sogar in ihren Rängen abrutschen.

Geht man zu Punktmuster 'Verzerrung' über, findet man die gleiche räumliche Verteilung der Anteilsveränderungen und Umordnungen vor, jedoch betragsmäßig extremer. So nehmen bei der Versandverteilung der Quelle 5 die randlichen Nachbarn und der Gegenrand stärker zu als bei Hexagonal, die zentrumsnahen Senken der Zwischenlage und zentrale Senken verlieren Verkehrsanteile. Ähnlich schrumpfen die Anteile sogar benachbarter zentraler Senken bei den Fällen 8 und 13, hingegen wachsen jene randlicher Senken.

Der Eindruck, den Abb. 30 vermittelt, wird durch die entsprechenden Rangkorrelationskoeffizienten (Spearman) bestätigt:

Rangkorrelationskoeffizient der Umordnung bei Übergang vom einfachen Gravitationsmodell zum räumlichen Konkurrenzmodell; Senken jeweils nach Anteilen am Gesamtversand gereiht

Quelle	Punktmuster	Hexagonal Verzerrung	
5		0,847	0,631
8		0,883	0,609
13		0,883	0,642

Faßt man die Untersuchungsergebnisse zusammen, so besteht die Wirkung der Ausgleichsfaktoren auf Richtung und Betrag der von einer Quelle ausgehenden Verkehrsströme darin,

- daß der Rand sich verstärkt selbst versorgt (relativ wenige unmittelbare Nachbarn mit z.T. hohen Ausgleichsfaktoren);
- daß Quellen der Zwischenlage zur Versorgung von Rand und Zentrum herangezogen werden (Senken in randnaher Zwischenlage haben hohe Ausgleichsfaktoren, zentrumsnahe Senken niedrige);
- daß das Zentrum ergänzend den Rand versorgt; ansonsten tendieren zentral gelegene Quellen in ihrem Versandverhalten zur Gleichverteilung.

Diese Feststellungen korrigieren jenes Bild vom Gravitationsmodell, was die Verkehrsverteilung lediglich vom Exponenten abhängig sah und unabhängig von der Lage der Quelle. Es stimmt für das räumliche Konkurrenzmodell nicht mehr, daß bei Exponenten >0 mit zunehmender Entfernung die Versandmengen abnehmen. Bei entsprechender Begünstigung des Randes kann eine Kompensation der weiteren Entfernung Gleichheit der Versandmenge mit derjenigen nach einer nähergelegenen Senke erzwingen, ja sogar deren Anteil am Versand der Quelle übertreffen. Hier ist es an der Zeit, festzustellen, daß regionale Modifikationen der sonst so starren Verkehrsverteilung aufgrund der Einbeziehung der Ausgleichsfaktoren möglich sind. Und dies bringt das Modell näher an die Realität, vorausgesetzt, der zu untersuchende Verkehr weist wirklich eine Abhängigkeit von Distanz und relativer Lage auf.

Nach diesen Ausführungen erscheint es sinnvoll, abschließend die Präferenzen der einzelnen Quellen zu untersuchen, da sie ja in ihrer räumlichen Verteilung als regionalisierte Widerstandsfunktion angesehen werden können (vgl. 2.1).

2.6.3 Untersuchung der Präferenzen

Zunächst soll für die ausgewählten Quellen ein Überblick über die räumliche Verteilung ihrer Versandpräferenzen gegeben werden. Hierzu wird angenommen, daß sich die diskrete Widerstandsfunktion kontinuierlich über das Untersuchungsgebiet fortsetzen läßt. Dann ist die Darstellung der Präferenzverteilung mit Hilfe einer Isolinienkarte zulässig. Um die Kartenaussage durch den fehlenden Präferenzwert an der Quelle selbst (- kein Binnenverkehr -) nicht zu stören, wird ein durch Interpolation aus den Werten der nächsten Nachbarn gewonnener Wert angenommen (vgl. Abb. 31, 32).

Bei Interpretation der Karten ist zunächst noch einmal an die verzerrenden Einflüsse der 'ordinalen Perzeption' zu erinnern, die vor allem beim Punktmuster 'Hexagonal' sichtbar werden. Zum anderen muß auf die Wahl der Schwellenwerte hingewiesen werden, die ebenfalls Unregelmäßigkeiten bewirken. Dennoch läßt sich herauslesen, daß die Widerstandsfunktion der ausgewählten Quellen asymmetrisch ist - im Gegensatz zum einfachen Modell. So beschränken sich bei 'Hexagonal' die überdurchschnittlich hohen Präferenzen auf den jeweils benachbarten Rand bzw. die diesem Rand vorgelagerte Zwischenlage. Die stärkere Variation der B-Werte bei 'Verzerrung' kommt in den Karten dadurch zum Ausdruck, daß bei Quelle 5 nach dem raschen Abfall der Widerstandsfunktion gegen das Zentrum eine Begünstigung des Gegenrandes erfolgt und daß sowohl die Quelle 8 als auch 13 viel stärker die Randlagen begünstigen als bei 'Hexagonal'.

Die Darstellung der Widerstandsfunktionen für ausgewählte Quellen wird ergänzt durch die Abb. 33 und 34, die für alle Punkte zunächst alle Präferenzen über 1,2 zeigen. Gemäß den obigen Ausführungen treten große Präferenzen gehäuft bei Beziehungen Rand-Rand auf, seltener bei Beziehungen Zentrum-Zentrum. Bei Einbezug der Präferenzen zwischen 0,8 und 1,2 ergibt sich die stärkere Abhängigkeit der zentralen Senken von vielen minder starken Versandbeziehungen, hingegen die Selbstversorgerfunktion des Randes aus nächster Nähe aufgrund intensiver Beziehungen und der z.T. weite Ausgleich von Randquellen zu Randsenken.

Abb. 31 Punktmuster 'Hexagonal'; ordinale Entfernungen Stufe 2: Präferenzverteilung ausgewählter Quellen

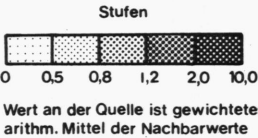
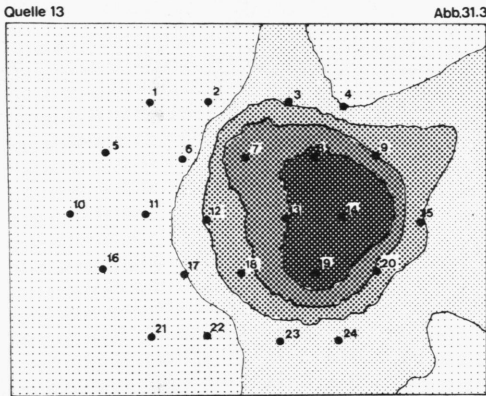
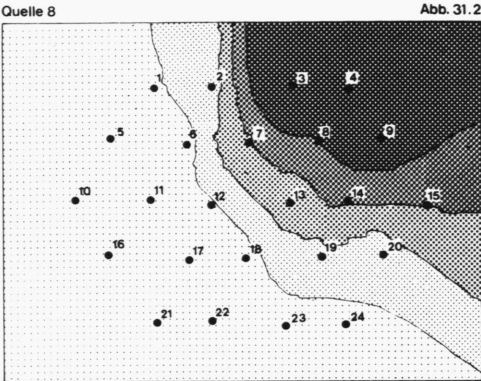
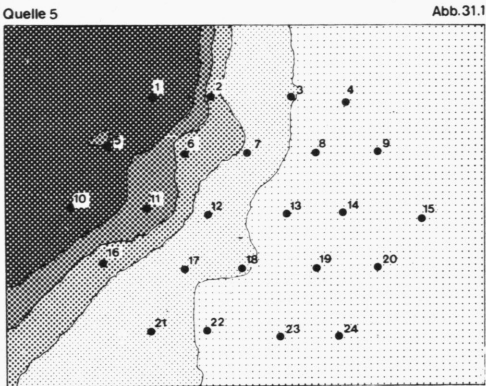


Abb. 32 Punktmuster 'Verzerrung'; ordinale Entfernungen Stufe 2: Präferenzverteilung ausgewählter Quellen

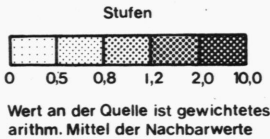
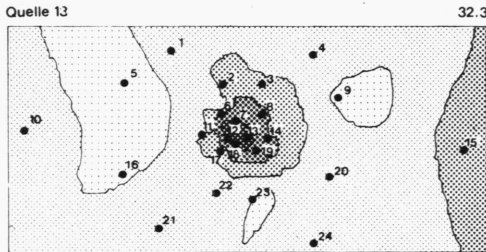
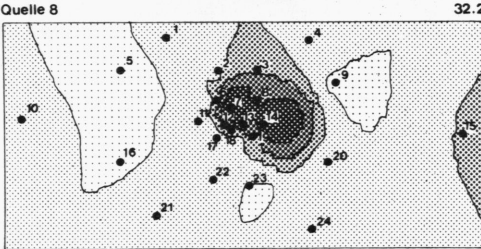
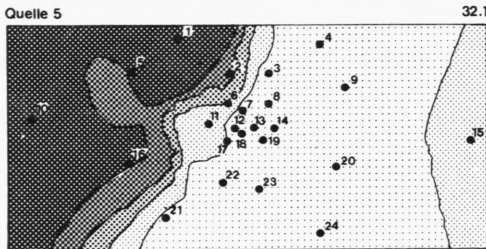


Abb. 33 Punktmuster 'Hexagonal'; ordinale Entfernungen Stufe 2: Verteilung der Präferenzen über 0,8

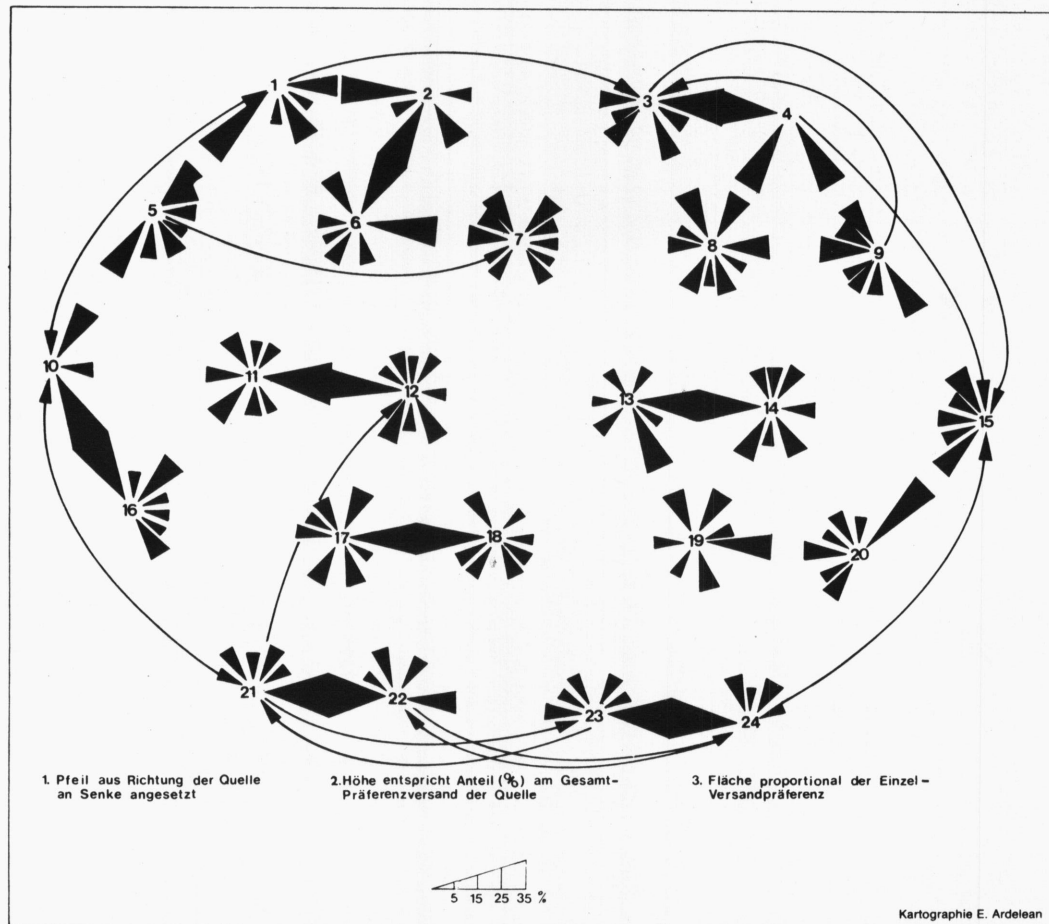
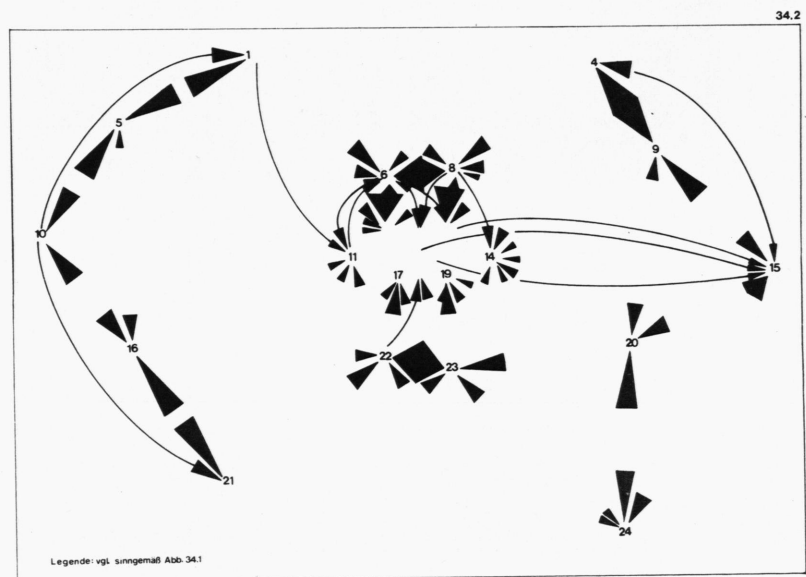
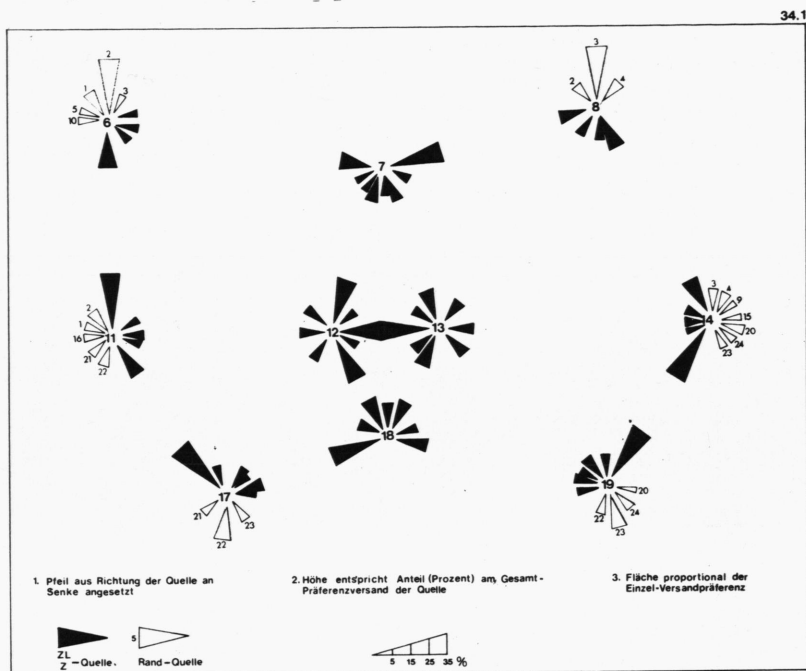


Abb. 34 Punktmuster 'Verzerrung'; ordinale Entfernungen Stufe 2: Verteilung der Präferenzen über 0,8



Trotz der eben beschriebenen unterschiedlichen Intensitäten der Versandbeziehungen vermitteln alle Karten den Eindruck einer sehr weitgehenden Verflechtung aller Quellen mit den Senken ihrer Umgebung. Um abschätzen zu können, welcher Anteil der Gesamtpräferenz der Quellen dargestellt wurde, sind die Karten 35 und 36 zu beachten. Während der Anteil der Präferenzen über 0,8 an der Gesamtpräferenz beim einfachen Gravitationsmodell konstant 69% beträgt (linke Kreishälfte), liegt er je nach relativer Lage der Quelle beim räumlichen Konkurrenzmodell deutlich darunter oder darüber. Randliche Quellen überschreiten infolge der teilweise intensiven Versandbeziehungen (niedrige relative Entropie) diesen Anteil, für Zwischenlage und zentrale Quellen fällt er (hohe relative Entropie) geringer aus. Auch die Aufteilung auf die einzelnen Zielgruppen weicht von der des einfachen Modells ab, und zwar in beiden Idealfällen zugunsten des Randes.

Damit ist die Untersuchung des räumlichen Konkurrenzmodells auf Stufe 2 abgeschlossen.

2.7 ERWEITERUNG DER FOLGERUNGEN AUS DER MODELLHYPOTHESE

Eingedenk der Annahmen in Stufe 2 des Untersuchungsganges soll eine Verknüpfung der Ergebnisse mit der Modellhypothese vorgenommen werden. Wichtigste Ergänzung scheint zu sein, daß die relative Lage über die in 2.5 definierten Ausgleichsfaktoren Einfluß auf die modellhaft berechnete Verkehrsverteilung nimmt. Damit ist nachgewiesen, daß tatsächlich alle verfügbare Information in die Berechnung der regionalen Verkehrsverteilung eingeht.

Der Einbezug der relativen Lage in das Modell hat weitreichende Folgen. So ist die Versandverteilung einer Quelle nicht mehr nur von der Quelle und den jeweiligen Interaktionspartnern sowie der Entfernungsfunktion abhängig, sondern es besteht eine Rückkopplung

Abb. 35 Punktmuster 'Hexagonal'; ordinale Entfernungen Stufe 2:
Anteil der Versandpräferenzen über 0,8 an dem Gesamtpräferenzen-
versand, differenziert nach relativer Lage der Senken und den Verhält-
nissen des einfachen Gravitationsmodells gegenübergestellt

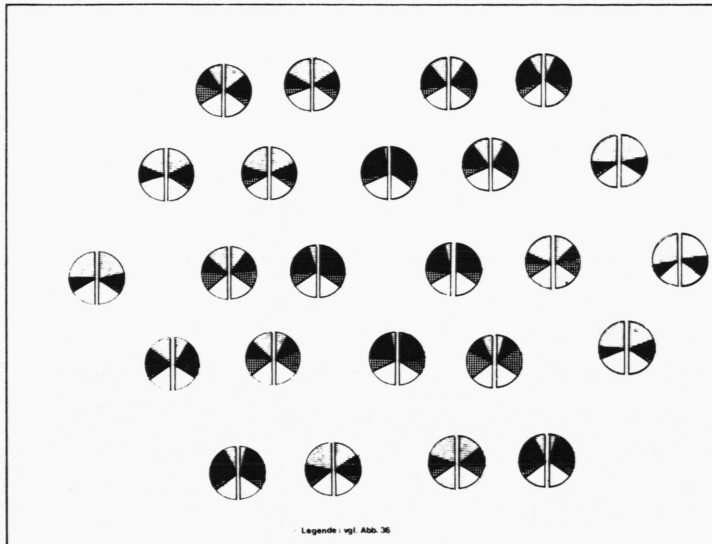
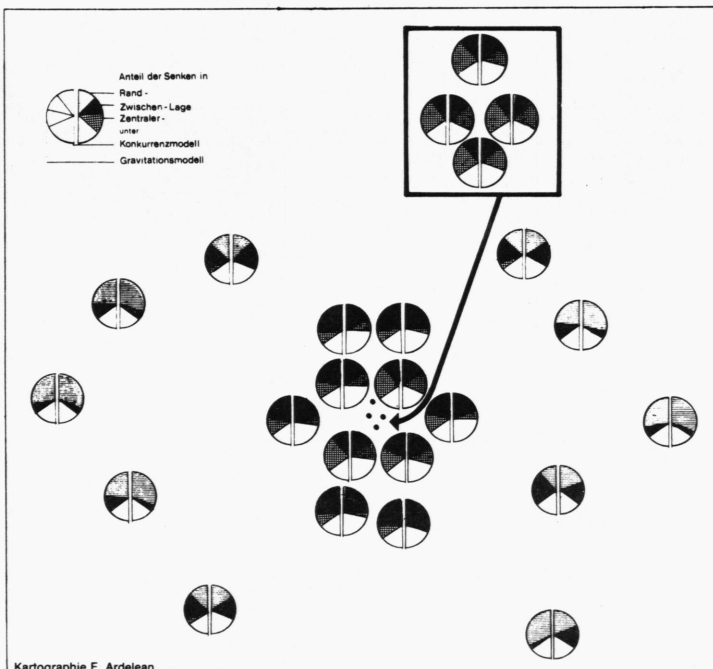


Abb. 36 Punktmuster 'Verzerrung'; ordinale Entfernungen Stufe 2:
Anteil der Versandpräferenzen über 0,8 an dem Gesamtpräferenzen-
versand, differenziert nach relativer Lage der Senken und den Verhält-
nissen des einfachen Gravitationsmodells gegenübergestellt



zwischen dem Versandverhalten der Quelle und allen anderen Quellen sowie dem Empfangsverhalten der Senken. Diese Abstimmung der Versanderverhalten im geschlossenen System hat zur Folge, daß eine regionale Differenzierung der Interaktions-Verhaltenshypothese notwendig wird.

Für die idealisierten Punktmuster 'Hexagonal' und 'Verzerrung' konnte nämlich gezeigt werden, daß bspw. Randquellen die höchsten Intensitätsbeziehungen mit benachbarten Randsenken erreichen und daß dies die höchsten Interaktionsintensitäten im Modell überhaupt sind. Weiter ist es nicht mehr richtig, daß sich die Interaktionsintensität generell mit zunehmender Entfernung abschwächt. Vielmehr trifft zu, daß je nach relativer Lage der Senke eine regionalisierte Widerstandsfunktion der Quelle zur Anwendung kommt, die keinesfalls nur monoton fallend ist, ja nicht einmal symmetrisch zu sein braucht, so daß auch gewisse Richtungsorientierungen in der Verteilung der Interaktionsintensitäten möglich sind. Damit ist der Anschluß an das Begriffssystem von Ullman gefunden. Von zwei Senken, die von einer randlichen Quelle gleichweit entfernt sind, wobei sich eine Senke randlich, die andere sich in Zwischenlage befindet, kann die randliche Senke dank ihres höheren B-Wertes als 'Intervening-Opportunity' für den Kontakt der Quelle mit der Senke in Zwischenlage wirken. Es muß aber darauf hingewiesen werden, daß zwischen dem 'intervening-opportunity-Modell' und dem räumlichen Konkurrenzmodell ein Unterschied in Modellannahme und -hypothese besteht.

Letztlich muß betont werden, daß die Modellhypothese der Entropie-Maximierung der Verkehrsverteilung im Gesamtraum nicht so verstanden werden darf, als würde die Entropie für alle Quellen bzw. alle Senken gleich maximiert. Aufgrund der regionalen Differenzierung der Widerstandsfunktionen weisen bei den extremen Punktmustern die Versandverteilungen randlicher Quellen die niedrigste relative Entropie, diejenige zentraler Quellen die höchste relative Entropie auf.

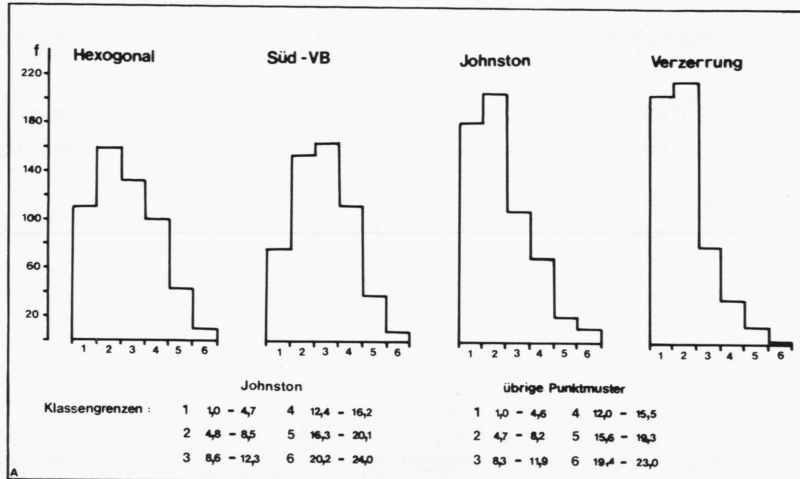
Kehrt man noch einmal zum Thema 'Übertragbarkeit' zurück, so ist klar, daß die Modellparameter punktmusterabhängig sind, insofern auch die Verkehrsverteilung. Dies ist aber eine Konsequenz der

Entscheidung, die Verkehrsverteilung überhaupt ausschließlich aus Raumgrößen und räumlichen Verteilungen der Aufkommensmengen sowie dem Aufwand zu erklären. Daß die räumliche Konkurrenz je nach Punktmuster verschieden stark räumlich variiert, konnte gezeigt werden. Hier offenbart sich die Chance, eine Übertragbarkeit oder Vergleichbarkeit durch geeignete Wahl des Punktmusters zu erreichen.

2.8 BEMERKUNGEN ZUM ÜBERGANG VON ORDINALER ZUR REALEN ENTFERNUNGSMATRIX

Der Übergang von ordinaler zur realen Entfernungsmatrix ändert nur geringfügig die aufgefundenen Verteilungen der Entropie und der räumlichen Konkurrenz. Mit Einführung der realen Entfernungsmatrix wird zunächst einmal die Symmetrie in der Entfernungswahrnehmung von Quelle und Senke wiederhergestellt. Des weiteren erscheint es aufgrund der vorangegangenen Überlegungen sinnvoll, alle zu verwendenden Entfernungsmatrizen dahingehend zu normen, daß die im Punktmuster auftretende minimale Entfernung 1 Einheit, die maximale Entfernung (- bei Ausschluß des Binnenverkehrs -) $n-1$ Einheiten beträgt, wobei n die Anzahl der Verkehrsschwerpunkte bedeutet. Die gesamte innere Struktur der jeweiligen Entfernungsmatrix bleibt bei dieser linearen Transformation unangetastet. So ist darauf hinzuweisen, daß im Gegensatz zur ordinalen Entfernungsmatrix für jede Quelle innerhalb eines Punktmusters unterschiedliche Entfernungen zur nächstgelegenen Senke bestehen. Diese Anfangsentfernungen unterscheiden sich innerhalb 'Hexagonal' nur geringfügig, können aber mit zunehmender Punktdichtevariation, bspw. bei 'Verzerrung' sehr weit auseinanderliegen. Dies hat Folgen für die räumliche Konkurrenz, wie unten gezeigt wird.

Abb. 37 Histogramme der den Punktmustern entsprechenden realen Entfernungsmatrizen



In Abb. 37 sind nach Punktmustern getrennt die Histogramme der Entfernungsmatrizen dargestellt (vgl. auch Taylor [240]). Deutlich sichtbar sind die Ähnlichkeiten zwischen 'Hexagonal' und 'Süd-VB' einerseits, 'Johnston' und 'Verzerrung' andererseits. Während die Einzelquellen bei den erstgenannten Punktmustern eine ausgeglichene Verteilung hinsichtlich naher und weiter Entfernungen aufweisen und somit die Gesamtverteilung als Addition dieser Einzelverteilungen nur eine geringfügige linksseitige Schiefe aufweist, ist die Schiefe bei den Punktmustern 'Johnston' und 'Verzerrung' beträchtlich. Sehr viel mehr Punkte sind im Zentrum der Punktmuster konzentriert. Diese Quellen weisen überwiegend niedrige und nur zu randnahen und randlichen Senken weite Entfernungen auf. In der Addition der Einzelverteilungen können die randlichen Verkehrsschwerpunkte dieses Bild nur geringfügig korrigieren, so daß sich die kurzen Entfernungen sehr stark in der Verteilung niederschlagen.

Bei Benutzung der ordinalen Entfernungsmatrix ist die Versand-Entfernungsverteilung für jede Quelle gleich, so daß sich bei Verwendung von Beziehung (18) für A keine Variation der Ausgleichsfaktoren der Empfangskonkurrenz an den Quellen ergibt. Dies ändert sich mit Zurückgewinnung der Symmetrie der Entfernungsmatrix bei Übergang zu realen Entfernungen. Die A-Werte nehmen ebenfalls vom

Zentrum zum Rand ab. Dies hätte für die räumliche Versandkonkurrenz solange keine Konsequenzen, wie keine Rückkopplung zwischen Quellen und Senken in ihrem Versand- bzw. Empfangsverhalten besteht. Nun wird gerade diese Kopplung und Rückkopplung mit Hilfe der relativen Lage im Modell angestrebt, wie sie in der Beziehung (19) verwirklicht ist. Man erhält demzufolge bei 'Hexagonal' eine leicht abgewandelte Verteilung der B-Werte, wie sie im Profil in Abb. 38 der bisher beschriebenen gegenübergestellt ist.

Die Verlagerung des Schwerpunktes der räumlichen Versandkonkurrenz vom Zentrum zur zentrumsnahen Zwischenlage ist wie folgt zu erklären:

Sei eine Senke im Zentrum gelegen. Die für ihre Versandkonkurrenz ausschlaggebenden Quellen sind im Zentrum infolge des Ausgleichs der Empfangskonkurrenz stärker geschrumpft, in der zentrumsnahen Zwischenlage schwächer, hingegen zum Rand hin gewachsen. Da aber die Entfernungsfunktion mit zunehmender Entfernung niedrigere Werte aufweist, nehmen allein die nächstgelegenen Quellen Einfluß auf die Versandkonkurrenz. Da sie gegenüber der ordinalen Entfernungsmatrix geschrumpft sind, fällt die Versandkonkurrenz im Vergleich geringer aus, dementsprechend der zugehörige B-Wert höher.

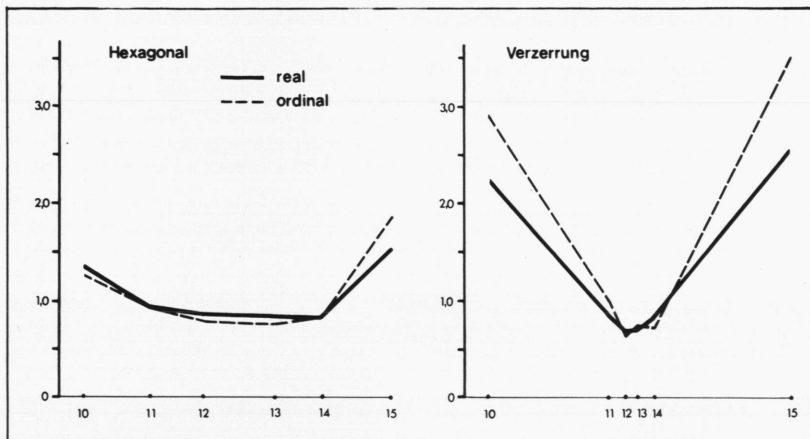
Für eine Senke der zentrumsnahen Zwischenlage sind die für ihre Versandkonkurrenz entscheidenden Quellen im Vergleich zur ordinalen Entfernungsmatrix stark geschrumpft, soweit sie zum Zentrum gehören, bzw. weniger stark, wenn es sich um Quellen der Zwischenlage handelt oder sogar gewachsen, falls es in randnaher Zwischenlage oder randlich gelegene Nachbarn sind. Es zeigt sich, daß die Möglichkeit des Auftretens einer gewachsenen Quelle in Nachbarschaft zu einer Erhöhung der Versandkonkurrenz relativ zu zentral gelegenen Senken führt.

Ergänzend ist hinzuzufügen, daß bei totaler Kopplung und Rückkopplung im Modell - also genauer Einhaltung aller Nebenbedingungen - auch die A-Werte für Punktmuster Hexagonal den letztbeschriebenen Verteilungstyp annehmen.

Geht man zu Punktmuster 'Verzerrung' über, dann ist im Gegensatz zu 'Hexagonal' keine Veränderung der räumlichen Verteilung der Versandkonkurrenz erkennbar. Zwar variieren nun auch die A-Werte wie bei 'Hexagonal', jedoch bleiben die eingeleiteten Schrumpfungs-

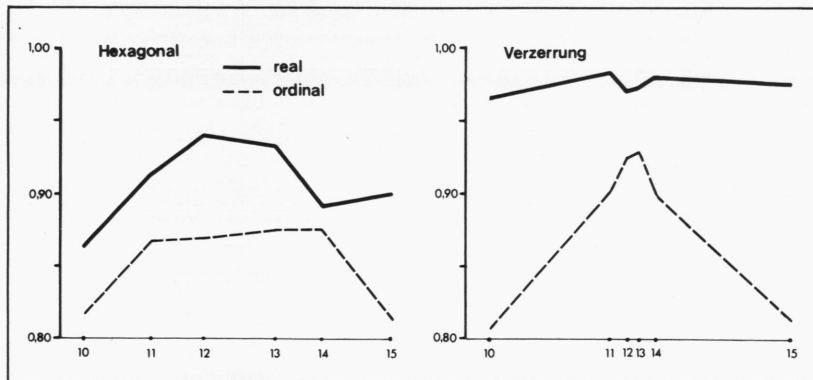
und Wachstums-Effekte deshalb wirkungslos, weil die Punktdichte im Zentrum gegenüber jener des Randes zu unterschiedlich ist.

Abb. 38 Ideale Punktmuster; Stufe 2: Vergleich der Profile durch die B-Wert-Verteilung für ordinale und reale Entfernungen



Anders verhält es sich mit der Verteilung der Versandentropie. Bei Punktmuster 'Hexagonal' tritt gegenüber der Verwendung der ordinalen Entfernungsmatrix keine Veränderung ein (vgl. Abb. 39).

Abb. 39 Ideale Punktmuster; Stufe 2: Vergleich der Profile durch die Versandentropie-Verteilung für ordinale und reale Entfernungen



Kartographie E. Ardelean

Immer noch sind die Verkehrsverteilungen der zentral gelegenen Quellen wesentlich gleichmäßiger als jene der zentrumsnahen Zwischenlage. Nicht so bei Punktmuster 'Verzerrung'. Zum einen tendieren mit Übergang zur realen Entfernungsmatrix alle Quellen sehr stark zur Gleichverteilung. Dies läßt sich aus der Vorherr-

schaft kleiner und mittlerer Distanzen und dem Zurücktreten weiter Distanzen innerhalb des Punktmusters begründen. Da die Entropiewerte der Einzelverteilungen so dicht beieinander liegen, machen sich die durch die Variation der A-Werte eingeleiteten relativen Verschiebungen der B-Werte wenn nicht in der B-Verteilung selbst, so doch in der Verteilung der Entropien der Quellen bemerkbar. Man erhält in zentrumsnaher Zwischenlage höhere Entropien als im Zentrum selbst.

KERNLITERATUR KAPITEL 2

- Cesario, F.J.: The interpretation and calculation of gravity model zone-to zone adjustment factors. In: *Environment & Planning* 6 (1974), pp. 247-258.
- Curry, L.: A spatial analysis of gravity flows. In: *Regional Studies* 6 (1972), pp. 131-147.
- Evans, A.W.: Some properties of trip distribution methods. In: *Transportation Research* 4 (1970), pp. 19-36.
- Ewing, G.O.: Gravity and linear regression models of spatial interaction. A cautionary note. In: *Economic Geography* 50 (1974), pp. 83-88.
- Heggie, I.G.: Are gravity and interactance models a valid technique for planning regional transport facilities? In: *Operational Research Quarterly* 20 (1969), pp. 93-110.
- Johnston, R.J.: On frictions of distance and regression coefficients. In: *Area* 5 (1973), pp. 187-191.
- Johnston, R.J.: Map pattern and friction of distance parameters. A comment. In: *Regional Studies* 9 (1975), pp. 281-283.
- Johnston, R.J.: On regression coefficients in comparative studies of the 'frictions of distance'. In: *Tijdschrift voor economische en sociale geografie* 67 (1976), pp. 15-28.
- Kirby, H.R.: Normalizing factors of the gravity model - an interpretation. In: *Transportation Research* 4 (1970), pp. 37-50.
- Nash, L.K.: *Elements of statistical thermodynamics*. Reading, Mass. 1967.
- Obst, J.: Möglichkeiten zur Ermittlung von Aktionsreichweiten durch Nachrichtenströme im Fernsprechverkehr. Aus: *Münchener Studien zur Sozial- und Wirtschaftsgeographie Band 8, Bevölkerungs- und Sozialgeographie*. Deutscher Geographentag in Erlangen, 1971. Ergebnisse der Arbeitssitzung 3. Kallmünz 1972, pp. 83-88.
- Ruske, H.: Determinanten der Widerstandsfunktion in der Verkehrsverteilungsrechnung. In: *Stadt, Region, Land* 37 (1976), pp. 37-56.
- Wilson, A.G.: A statistical theory of spatial distribution models. In: *Transportation Research* 1 (1967), pp. 253-269.
- Wilson, A.G.: Advances and problems in distribution modelling. In: *Transportation Research* 4 (1970), pp. 1-18.
- Wilson, A.G.: *Entropy in urban and regional modelling*. London 1970.

3. UNTERSUCHUNGSRAUM, AUSWAHL DES TEILVERKEHRS SOWIE ANWENDUNG DES KONKURRENZMODELLS AUF STUFE 2

Anhand einer speziellen Entfernungsmatrix und unter Heranziehung idealer Punktmuster wurden die Aussagen über die räumliche Wirkungsweise des Konkurrenzmodells gewonnen. Es steht zu erwarten, daß die beobachteten räumlichen Verteilungen, etwa der Ausgleichsfaktoren oder der Versandentropie sowie der Werte der Präferenzen für eine Quelle Modifikationen erfahren, wenn reale Verhältnisse berücksichtigt werden. Freilich scheint es nützlich, den Übergang von der "idealen" zur "realen" Modellanwendung schrittweise zu vollziehen.

So erweist es sich als vorteilhaft, daß das gewählte Untersuchungsgebiet Süddeutschland von der amtlichen Statistik zwar in unterschiedlich große Teilräume gegliedert ist, die gewählten Verkehrsschwerpunkte als Muster jedoch zur Gleichverteilung tendieren und zudem das Gesamtgebiet relativ geschlossen ist. Hieraus eröffnet sich die Möglichkeit, zu Vergleichszwecken das reale Punktmuster in das (ideale) Hexagonalmuster zu überführen.

Bei der Auswahl des Verkehrs ist nicht von vornherein bekannt, daß das räumliche Konkurrenzmodell eine gute Approximation liefert. Dabei hätten "gute" Beispiele gefunden werden können, was für verwandte Modelle die Untersuchungen von Ruske [208] und Black [28] zeigen. Aber gerade bei den Arbeiten von Black über den Güterverkehr stellt sich die Frage, ob es denn erlaubt ist, unter Verwendung der Entropie-Maximierungshypothese Güteraggregate zu benutzen. Hierzu müssen erhebliche Bedenken angemeldet werden, die den theoretischen Untersuchungen in Kap. 4 und der Anwendung des Konkurrenzmodells auf Stufe 3 in Kap. 5 vorgreifen.

Im Zusammenhang mit der Auswahl des Teilverkehrs ist auch aufzuzeigen, welche Verbindung zwischen regionaler Industriestruktur und regionaler Aufkommensmenge besteht. Diese Struktur wird nämlich nur im Verkehrserzeugungsmodell, der Vorstufe des Verkehrsverteilungsmodells, herangezogen, nicht aber im Verkehrsverteilungsmodell selbst.

In der Anwendung soll versucht werden, einen schon bekannten Verkehr bestmöglich mit Hilfe des Modells zu approximieren, um festzustellen, ob das Modell als Bezugsbasis für die Untersuchung dieses Verkehrs dienen kann und - was hier nicht weiter verfolgt wird - welche regionalen Besonderheiten größere Abweichungen der realen von der modellhaft berechneten Verkehrsverteilung bedingen. Um einen Erfahrungshintergrund für diesen realen Verkehr und die Beurteilung der Ergebnisse zu schaffen, wird die beobachtete VSM anhand dreier Kenngrößen dargestellt.

Während die Abschnitte 3.2 und 3.3 über die Modellanwendung hinausgehende Information über den zu untersuchenden Verkehr beinhalten, muß in 3.4 die Information auf die gemäß Modellvoraussetzung zulässige Menge reduziert werden.

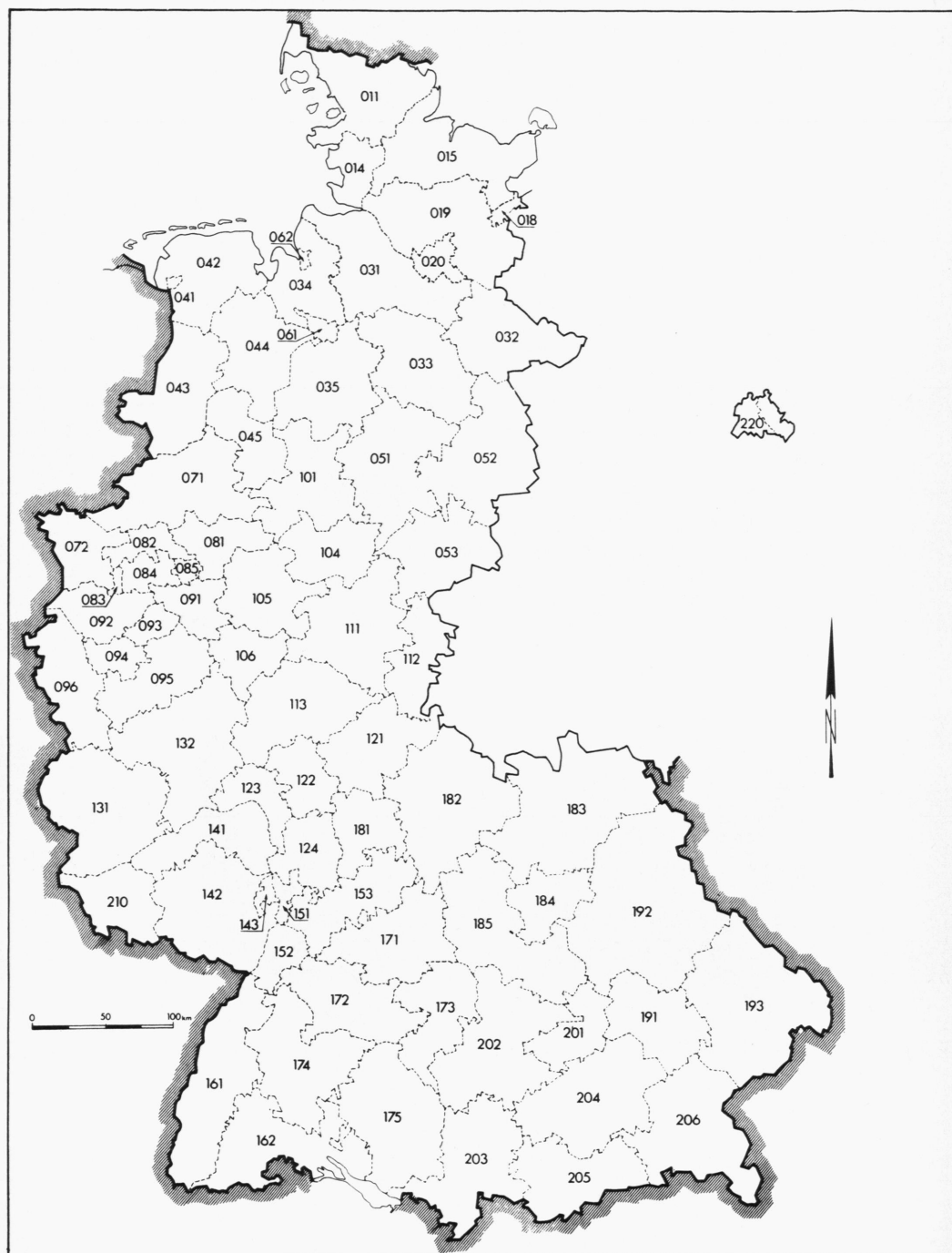
3.1 UNTERSUCHUNGSRAUM

Der mit Hilfe des Modells zu approximierende Verkehr wird der amtlichen Güterbewegungsstatistik entnommen.¹ Zur Auswahl eines geeigneten Untersuchungsraumes wird die Karte der vom Statistischen Bundesamt getroffenen Verkehrsbezirkseinteilung der BRD herangezogen (vgl. Abb. 40). Die Richtlinien der VB-Einteilung hat Pauli [196] dargestellt, wobei auch das Kriterium der Ausweisung von Räumen gleich hoher "Verkehrsaktivität" herangezogen wurde. Allerdings bezieht sich die Anwendung dieses Kriteriums auf den Gesamtverkehr und alle Verkehrsträger.

Welche Forderungen sind nun an das Untersuchungsgebiet zu stellen? Im Hinblick auf die Ausführungen in den vorangegangenen Kapiteln ist es erstrebenswert, folgende Auswahlkriterien zu formulieren:

1 Quellen: [44], [230], [231].

Abb. 40 Einteilung der BRD in Verkehrsbezirke durch die amtliche Statistik



Kartographie E. Ardelean

Verzeichnis der in Abb. 40 dargestellten VB

Schleswig-Holstein

011 Flensburg/Husum
014 Heide
015 Kiel
018 Lübeck (Stadt)
019 Itzehoe/Ratzeburg

Hamburg

020 Hamburg (Stadt)

Niedersachsen

031 Stade/Harburg
032 Lüneburg/Uelzen
033 Soltau
034 Brake
035 Verden/Nienburg

041 Emden (Stadt)
042 Wilhelmshaven
043 Meppen
044 Oldenburg
045 Osnabrück

051 Hannover
052 Braunschweig
053 Göttingen

Bremen

061 Bremen (Stadt)
062 Bremerhaven (Stadt)

Nordrhein-Westfalen

071 Münster
072 Moers
081 Hamm
082 Dinslaken
083 Duisburg (Stadt)
084 Essen
085 Dortmund (Stadt)

091 Hagen
092 Düsseldorf
093 Solingen
094 Köln
095 Bonn
096 Aachen

101 Bielefeld
104 Paderborn
105 Arnsberg
106 Siegen

Hessen

111 Kassel/Waldeck
112 Hersfeld/Eschwege
113 Gießen/Marburg
121 Fulda
122 Frankfurt
123 Wiesbaden
124 Darmstadt

Rheinland-Pfalz

131 Trier
132 Koblenz
141 Mainz
142 Kaiserslautern
143 Ludwigshafen

Baden-Württemberg

151 Mannheim
152 Karlsruhe
153 Heidelberg
161 Freiburg
162 Konstanz
171 Heilbronn
172 Stuttgart
173 Ulm
174 Tübingen
175 Ravensburg

Bayern

181 Aschaffenburg
182 Würzburg/Schweinfurt
183 Bayreuth/Bamberg
184 Nürnberg
185 Ansbach
191 Landshut
192 Regensburg
193 Passau/Straubing
201 Ingolstadt
202 Augsburg
203 Kempten/Kaufbeuren
204 München
205 Garmisch-Partenkirchen
206 Rosenheim

Saarland

210 Saarland

Berlin

220 Berlin (West)

- relativ geschlossenes Gebiet;
- Muster der VB-Schwerpunkte dem Hexagonalmuster ähnlich;
- möglichst wenige Verkehrsträger, um Gefahr der Mehrfachzählung gering zu halten;
- keine industrielle Monostruktur, um nicht Wahl des Teilverkehrs von vornherein einzuengen.

Die ersten zwei Bedingungen hätten durch geschickte Auswahl in Verbindung mit räumlicher Aggregation fast überall in der BRD erfüllt werden können. Jedoch sollte nach Möglichkeit jede Zusammenfassung von VB vermieden werden, um die räumliche Feingliederung unter Beachtung des angeführten Ausweisungskriteriums bestmöglich auszuschöpfen.

Obwohl in unterschiedlich große VB eingeteilt, erwies sich Süddeutschland als geeignet, da die ausgewählten Verkehrsschwerpunkte recht gleichmäßig verteilt sind. Zudem spielt die Binnenschifffahrt im Verkehr der süddeutschen VB untereinander für die meisten Güter eine untergeordnete Rolle.

Um schrittweise die Ergebnisse des Kap. 2 auf reale Verhältnisse zu übertragen, scheint es ratsam,

- zunächst den realen Teilverkehr in einem idealen Punktmuster abzuwickeln
- und nachfolgend das ideale durch das reale Punktmuster zu ersetzen.

Hierzu ist es nötig,

- (i) reales und ideales Muster zu vergleichen und
- (ii) eine eindeutige Zuordnung von realen Verkehrsschwerpunkten zu solchen des idealen Musters anzugeben.

ad (i). Die entsprechenden Ausführungen und Tabellen in 2.3 und 2.4 sowie [*, M 3.1] werden durch zwei Bemerkungen ergänzt.

Tabelle 10

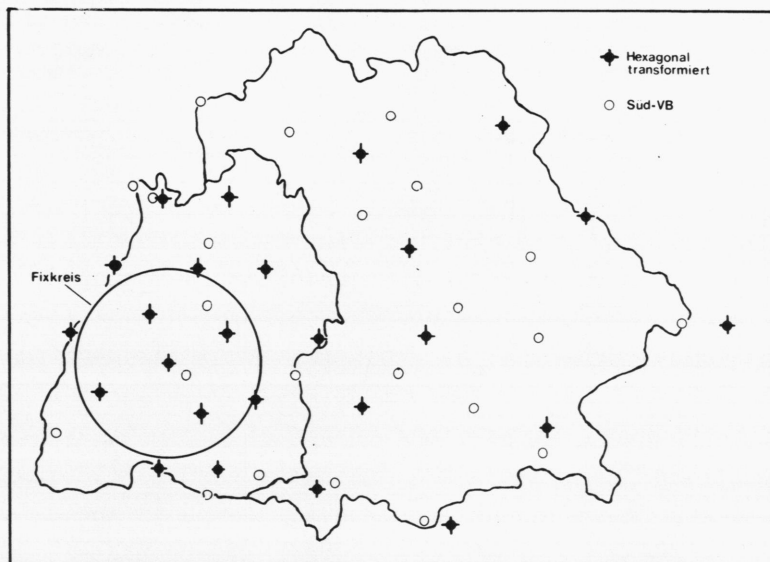
Parameter der Standardabweichungsellipse für die Punktmuster
'Hexagonal' und 'Süd-VB'

<div> <div>Punktmuster</div> <div>Ellipsen- parameter</div> </div>		
	Hexagonal	Süd-VB
Fläche	54,002	44,984
Exzentrizität	0,600	0,666
Konzentration (in %)	21,0	25,0
Richtungswinkel (in Grad)	- 1,465	-15,050

Zum einen zeigen die Parameter der Standardabweichungsellipse (S.A.E.), daß im Gegensatz zur Symmetrie von 'Hexagonal' eine Tendenz zur Richtungsorientierung und geringeren Punktstreuung bei 'Süd-VB' besteht (Tab. 10). So verläuft die Hauptachse der S.A.E. in Richtung WNW-ESE und weicht damit beträchtlich von jener W-E laufenden des Hexagonalmusters ab. Desgleichen ist die Ellipse bei 'Süd-VB' gestreckter, was die Exzentrizität belegt, und nimmt einen geringeren Flächenanteil an der (idealisierten) Gesamtfläche ein, wobei jedoch die Konzentration etwas höher liegt.

Zum zweiten bietet sich als zusätzliche Vergleichsmöglichkeit eine Überführung des idealen in das reale Punktmuster unter Anwendung der exponentiellen Transformation an. Abb. 41 zeigt die azentrische Lage von Mittelpunkt und Fixkreis bei der bislang besten Näherung, so daß gemäß den Eigenschaften der Transformation Punktverdichtung in südlichen Teilen Baden-Württembergs und Punktauflockerung im Osten und Süden Bayerns erfolgt. Lokale Punktdichteveriationen (bspw. Norden Baden-Württembergs) konnten nicht erzeugt werden.

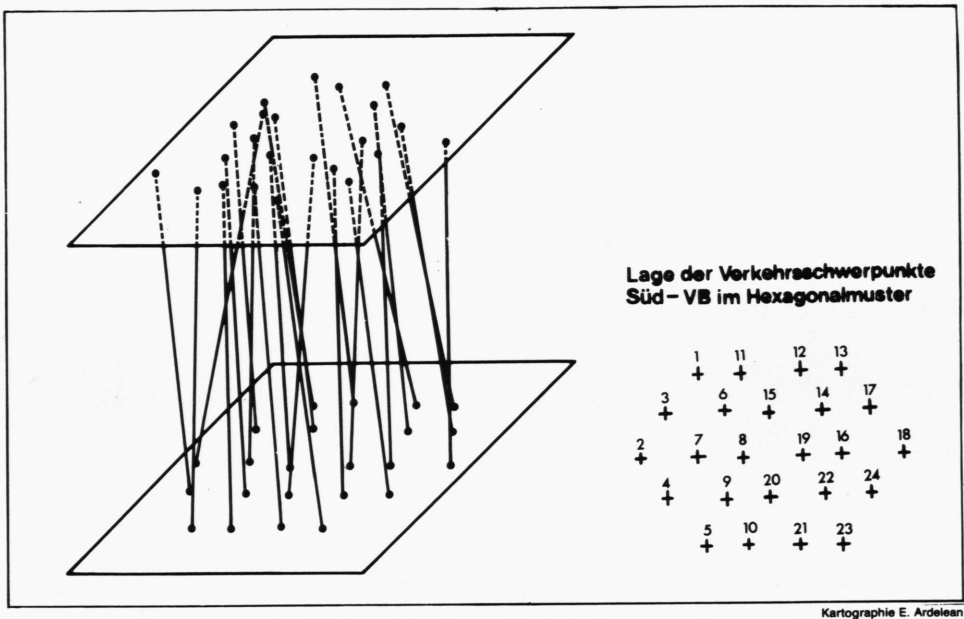
Abb. 41 Beste exponentielle Transformation des Punktmusters 'Hexagonal' zur Annäherung des Punktmusters 'Süd-VB'



ad (ii). Aus der letzten Bemerkung folgt, daß die Entfernungsmatrix bei dem angestrebten zweiten Schritt - der Umkehrung der eben durchgeführten Transformation - regional unterschiedlich verändert wird. Somit ergibt sich als Richtlinie für die Zuordnung, wenigstens die Relative Lage-Verhältnisse und die Nachbarschaften 1.Ordnung so weit wie möglich zu bewahren.

Folgende Zuordnung wird angegeben (Abb. 42):

Abb. 42 Zuordnung von Verkehrsschwerpunkten Süd-VB' zu Punkten des Hexagonalmusters



Bei einer Gegenüberstellung der Reihungen der Durchschnittsentfernungen der VB erhält man als Rangkorrelationskoeffizient 0,825 (TA 5). Dieser hohe Wert wird dadurch erreicht, daß Zentrum und extremer Rand übereinstimmen und 8 von 10 Punkten der Zwischenlage bzgl. 'Hexagonal' in solche ähnlicher relativer Lage bzgl. 'Süd-VB' übergeführt werden. Letzteres gilt auch für den Rand.

Die Durchsicht der Nachbarschaftsverhältnisse 1.Ordnung bzgl. beider Punktmuster ergibt, daß rund 79% aller in 'Süd-VB' bestehenden Nachbarschaften auch im 'Hexagonal'-Muster bewahrt bleiben. Und das, obwohl die realen VB im Gegensatz zu 'Hexagonal' recht unregelmäßige Gestalt haben, somit die Bedeutung der Nachbarschaften - bspw. gemessen in Anteil gemeinsamer Grenzlänge mit dem Nachbarn in Bezug zur eigenen Gesamtgrenzlänge - recht schwankend sind. Wie zu erwarten, fällt dann auch der Rangkorrelationskoeffizient bzgl. der Reihung nach Durchschnittsnachbarschaften mit 0,689 etwas ab (TA 5).

Insgesamt rechtfertigen die Ergebnisse die Wahl des Untersuchungsraumes und der Verkehrsschwerpunkte, wobei die Ähnlichkeit mit dem 'Hexagonalmuster' helfen sollte, regionale Besonderheiten erklären zu können.

3.2 DARSTELLUNG DES TEILVERKEHRS

War im vorigen Abschnitt der Untersuchungsraum abgegrenzt worden, so soll jetzt der mit Hilfe des Modells zu analysierende Teilverkehr ausgewählt und seine Abhängigkeit von regionalen Besonderheiten der ihn erzeugenden Industrie etwas beleuchtet werden. Es stellt sich die Frage, ob nicht Gütergruppenaggregate, d.h. Zusammenfassung von Verkehren verschiedenster Industriegruppen, besser geeignet seien (vgl. Black [28; 29]).

3.2.1 Warum Teilverkehr?

Zwei Gründe werden angeführt, einen Teilverkehr zu untersuchen, dem eine Industriegruppe zugeordnet werden kann:

- (i) Die Untersuchung eines Gütergruppenaggregates ist mit der in 1.3.2 gezogenen Folgerung aus der Modellannahme in der Regel unvereinbar.
- (ii) Die aus der Verkehrsverteilungshypothese abgeleiteten Eigenschaften des Modells gestatten keine Trennung der Einflüsse der Raumvariablen und der räumlichen Verteilung der Aufkommensmengen.

ausgewiesene Güter-Abteilung 9 der Halb- und Fertigprodukte. Dann sind in den Aufkommensmengen der einzelnen VB die zu dieser Abteilung zusammengefaßten Güterhauptgruppen prozentual recht unterschiedlich vertreten, da die Produktionsschwerpunkte der dieses Gütergruppenaggregat erzeugenden Industrien nicht zusammenfallen. Zudem kann eine gegebene Verkehrsmenge - entgegen oben erwähnter Folgerung - nicht immer beliebig räumlich verteilt werden. So unterscheiden sich bspw. 1 Tonne Erzeugnisse der Elektrotechnischen Industrie erheblich von 1 Tonne Erzeugnisse der Landmaschinenindustrie, beinhaltet doch erstere eine Fülle von Sendungen, die durchschnittlich erheblich leichter sind als jene mit Landmaschinen.

ad (ii). In Kap. 2 wurde - aufbauend auf dem Begriff der räumlichen Konkurrenz - der Einfluß der Ausgleichsfaktoren auf die modellhafte Verkehrsverteilung gezeigt. Da die Ausgleichsfaktoren sowohl von den Raumvariablen als auch von der noch im 4. Kapitel zu untersuchenden räumlichen Verteilung der Aufkommensmengen abhängig sind, kann bei einem Gütergruppenaggregat keine Trennung beider Einflüsse vorgenommen werden, was eine Interpretation der Ergebnisse erschwert, wenn nicht gar unmöglich macht. Dieser Sachverhalt wird anhand eines einfachen Beispiels in 3.3 erhellt.

Ergänzend soll hinzugefügt werden, daß sich für kurzfristige Verkehrsprognosen von drei bis fünf Jahren die Aufkommensverteilung für eine Gütergruppe zwar regional differenziert, jedoch in Abhängigkeit von der Gesamtkonjunktur und damit der lokalen Produktionscharakteristika einigermaßen "stetig" verändert und somit schätzbar ist. Dies ist um so wichtiger, wenn keine globalen, sondern regionale Voraussagen zur Verkehrsverteilung gemacht werden sollen.

3.2.2 Auswahl des Teilverkehrs

Um Mißverständnissen vorzubeugen: Wenn im vorigen Abschnitt die Absicht geäußert wurde, Teilverkehre statt Aggregate zu untersuchen, dann nicht aus dem Glauben heraus, eine genaue Kenntnis der räumlichen Verteilung der Quellen und Senken sowie der jeweiligen Produktionscharakteristika würde den Verkehr schon determinieren. Vielmehr soll unterstellt werden, daß die von der amtlichen Statistik gelieferte Verkehrsstrommatrix Produkt einer Unzahl von Einzelentscheidungen ist, deren Erklärung bzw. Systematisierung u.a. mit Methoden der Wahrscheinlichkeitsrechnung versucht werden soll, bspw. mit Hilfe des (erweiterten) räumlichen Konkurrenzmodells oder der in 3.3.2 angegebenen Modellreihe. Weiter spielt sich der Verkehr nicht hypothetisch, d.h. ohne Verbindung zum Raum ab, obwohl in den hier benutzten Modellen auf eine Routenzuordnung verzichtet wird. Vielmehr geht es darum, den Einfluß einer vorgegebenen räumlichen Verteilung von Quellen und Senken auf die beobachtete Verkehrsverteilung zu untersuchen.

Um diesen Vorstellungen gerecht zu werden und sie in Einklang mit dem verfügbaren statistischen Material - hier die amtliche Industrieberichterstattung und ggf. Verbandstatistiken - zu bringen, muß versucht werden, einen Teilverkehr zu finden, welcher der Produktion einer statistisch abgrenzbaren Industriegruppe entspricht. Somit besteht zunächst die Aufgabe, dem Güterverzeichnis für die Verkehrsstatistik das Warenverzeichnis für die Industriestatistik gegenüberzustellen. Eine Durchsicht der entsprechenden Unterlagen des Statistischen Bundesamtes zeigt jedoch, daß keiner Warengruppe eindeutig eine Güterhauptgruppe zugeordnet werden kann.¹ Erschwert wird die Auswahl noch dadurch, daß die Ausnahmen und Abweichungen der in Frage kommenden Paare in ihrem Einfluß nicht abgeschätzt werden können.

Faßt man eine räumliche Begrenzung des zu untersuchenden Verkehrs ins Auge, bspw. Süddeutschland, so können hierauf abgestellte Zusatzüberlegungen eine Eingrenzung der in Frage kommenden Teilverkehre erbringen:

¹ Vgl. Statistisches Bundesamt [226].

- (i) Der zu untersuchende Teilverkehr soll einer Warengruppe entsprechen, deren zugehörige Industriegruppe mit ihren Betrieben möglichst gleichmäßig in Süddeutschland verteilt ist, d.h. ansässig in allen VB.

Ist dies erfüllt, sind Aussagen über den Einfluß der Verteilung der Quellen auf den Verkehr bzw. die ihn charakterisierenden Modellparameter möglich.

- (ii) Die in Süddeutschland hergestellten Produkte sollen auch in Süddeutschland wieder Abnehmer finden und die Produktionspalette sollte nicht wesentlich von derjenigen im übrigen bzw. gesamten Bundesgebiet abweichen.

Dieser Gesichtspunkt stellt die Existenz von inner-süddeutschen Verkehrsbeziehungen sicher und wahrt die Chance einer Übertragbarkeit jener Untersuchungsergebnisse auf den Teilverkehr in der BRD, welche nicht von der lokalen Verteilung der Quellen und Senken abhängig sind.

- (iii) Zur Charakterisierung der potentiellen Empfänger sollten die Absatzbeziehungen der entsprechenden Industriegruppe in groben Zügen bekannt sein. Jedoch wird eingeräumt, daß wegen der zu erwartenden wechselnden Lieferbeziehungen keine eindeutigen Aussagen gemacht werden können.

Um den Modellvoraussetzungen entgegenzukommen, wurde zudem die Auswahl auf die Abteilung 9 des Güterverzeichnisses beschränkt.

Als zu untersuchender Teilverkehr wurde der Verkehr mit elektrotechnischen Erzeugnissen ausgewählt, wie er in der Gütergruppe 931 (Abk.: GGR 931) ausgewiesen ist. Bei einer Überprüfung der Überlegungen (i) - (iii) ergibt sich:

ad (i). Die Betriebe der Elektrotechnischen Industrie sind in Süddeutschland gleichmäßig verteilt. Ausgesprochene räumliche Konzentrationen fallen oft mit den gewählten Verkehrsschwerpunkten der VB

Darüber hinaus kann festgestellt werden, daß in Bayern und Baden-Württemberg der Elektrotechnischen Industrie ein bedeutendes wirtschaftliches Gewicht zukommt, wie auch den süddeutschen Betrieben dieser Industriegruppe für die Gesamt-BRD.

ad (ii). Input-Output-Studien von Gehrig [86] weisen aus, daß 1964 in der BRD die Absatzstruktur der Produktion elektrotechnischer Erzeugnisse wie folgt ausgeprägt war:

Hauptunterteilung		Einzelunterteilung	
Zwischennachfrage	29,9%	Bezug durch Elektroindustrie	13,5%
		" " Straßenfahrzeugbau	5,4%
		" " Maschinenbau	3,9%
		Rest	7,1%
Endnachfrage	70,1%	Bruttoanlageinvestitionen	33,1%
		Export	20,7%
		Privater Konsum	14,1%
		Rest	2,2%

Berücksichtigt man den Export nicht und schlüsselt die Bruttoanlageinvestitionen weiter auf, so ergibt sich die nachstehende Aufgliederung des Inlandabsatzes:

Abnehmer	% der Produktion
Elektroindustrie	19,4
Straßenfahrzeugbau	7,6
Maschinenbau	6,6
Verkehr (einschl. Nachrichtenvermittlung)	8,7
Elektrizitätserzeugung und -verteilung	8,9
Privater Konsum	18,6
Sonstige Bereiche	30,2
	100,0

Der relativ hohe Anteil der Elektroindustrie ist charakteristisch für diesen Industriezweig und hat sich seit dieser Erhebung noch gesteigert. Aus Quellen des Dachverbands ZVEI (ZVEI-Mitteilungen, [266]) entnimmt man, daß der Anteil elektrotechnischer Güter am Gesamtwareneingang der Elektroindustrie rund 34% ausmacht und für

die Gesamtindustrie immer noch mit 13% zu veranschlagen ist. Hieraus leitet sich eine gewisse Berechtigung ab, für die räumliche Lokalisation der Versender und Empfänger innerhalb eines VB ein und denselben Ort anzunehmen.

Welzel liefert den Hinweis [253, p.44], daß "bei Zustellung der meisten Halbfabrikate engere räumliche Beziehungen" (zwischen Versender und Empfänger) festzustellen sind. "Obwohl aufgrund des Produktionsprogramms Unterschiede und zahlreiche Ausnahmen bestehen, so ergibt sich doch, daß die in Ballungsgebieten liegenden Werke den größten Teil der Halbfabrikate innerhalb einer Entfernung von 50 km beziehen. Einschließlich der dezentral gelegenen Werke werden diese Materialien ... fast vollständig innerhalb eines Radius von rund 200 km eingekauft." Verknüpft man diese Kenntnis mit der Lage der Hauptzentren Stuttgart, Nürnberg, München, die etwa ein gleichseitiges Dreieck mit Seitenlänge 200 km bilden, ergibt sich auch hieraus eine Bestätigung der Auswahl des Untersuchungsgebietes im Hinblick auf diesen Teilverkehr.

Wenn eine Übereinstimmung des Produktionsspektrums der süddeutschen Elektroindustrie mit der des Bundes festgestellt werden kann und man annehmen darf, daß sich die Absatzstruktur des süddeutschen Teils dieser Industriegruppe ähnlich gestaltet wie die oben ausgewiesene, dann sind auch innersüddeutsche Verkehrsbeziehungen zu erwarten, da alle Abnehmer im Untersuchungsraum ansässig sind.

Die Untersuchung von Füssel-Waverijn [85] bestätigt,

- daß die Elektroindustrie Bayerns und Baden-Württembergs im bundesweiten Vergleich ähnliche Produktions-Gesamtanteile besitzen, jedoch auf einzelne Warenzweige bezogen unterschiedliche Anteile an der jeweiligen (Bundes-)Gesamtproduktion aufweisen;
- daß die Produktionsstruktur der in Baden-Württemberg ansässigen elektrotechnischen Betriebe der des Bundes ähnelt, hingegen diejenige der bayerischen Elektroindustrie einen ausgeprägten Schwerpunkt im Warenzweig 366 (Rundfunk, Fernsehen, ...) besitzt, ansonsten sich ebenfalls der Bundesstruktur anpaßt.

Wie oben erwähnt, entspricht keine Warengruppe uneindeutig einer Güterhauptgruppe. Auch bei der ausgewählten GGR 931 müssen Abweichungen festgestellt werden. Von den 46 Warenklassen der Waren-

gruppe 36 (Elektrotechnische Erzeugnisse) sind in der GGR 931 enthalten:

	Nummern der Warenklassen				
34 ganz	3611	3621	3631	3651	3671
	12	22	32	53	73
	13	23	33	57	75
	15	25	34		
	16	26			
	17	27	3644	3661	3683
		28	47	65	86
		29		67	87
					88
					89
9 teilweise		3624	3636	3663	3677
			37		
			38		
			39		3681
					82
3 nicht			3641	3655	3684

Gliedert man die elektrotechnische Produktion mit Ifo [35] auf in

- a) Investitionsgüter 3611 bis 13, 17 bis 19
3651 bis 57, 65, 67, 71 bis 77
- b) Gebrauchsgüter 3636 bis 39, 3661, 63
- c) Kfz-Ausrüstung 3615, 86
- d) Sonstige Erzeugn. 3616, 3631 bis 34, 3641 bis 47
81 bis 84, 87 bis 89,

so sind in der GGR 931 die Gruppen

- c) vollständig
- a),d) überwiegend
- b) zum größeren Teil

enthalten.

Andererseits werden in der GGR 931 noch folgende Warenklassen bzw. -zweige geführt:

- | | | | |
|--------|-----------------------|--------|--|
| 327846 | Magnetkupplungen | 5161 | Elektrotechnische Keramik |
| 384151 | Gehäuse für Kühlmöbel | 522165 | Akku-, Batt., Elem. Gläser |
| 384690 | | 542611 | Holzgehäuse f. Rundfunk- u. Fernsehempfangsgeräte |
| | | 542615 | Musikschränke und -truhen |
| | | 5822 | Einzelteile aus Kunststoff f. elektrotechn. Erzeugn. |

Eine grobe Abschätzung der Repräsentanz der elektrotechnischen Produktion durch die GGR 931 kann mit Hilfe der Produktionsstatistik der BRD gewonnen werden:

Elektrotechn. Prod. in BRD (1972)	t	%
32 Warenkl. (ganz in 931)	2 621 889	68,62
8 Warenkl. (teilweise in 931)	1 059 213	27,72
3 Warenkl. (nicht in 931)	139 538	3,66
Gesamtproduktion ¹	3 820 640	100,00

Quelle: Statist.Bundesamt: Fachserie D, Industrie- und Handwerk, Reihe 3, Industrielle Produktion, 1972.
Eigene Berechnungen.

In den Warenklassen und -zweigen, die außerhalb der Gruppe 36 liegen, aber zur GGR 931 zählen, konnte ebenfalls für 1972 die gewichtsmäßige Produktion zu 123 064 t² ermittelt werden.

Damit zeigt sich, daß die GGR 931 die elektrotechnische Produktion etwa zu 80% repräsentiert. Es besteht also Berechtigung, bei der Untersuchung der Verteilung der Quellen die Verteilung der elektrotechnischen Betriebe heranzuziehen. Abweichungen von den tatsächlichen Verhältnissen können dabei auftreten

- in der Nichtberücksichtigung von Lägern;
- in der Nichtberücksichtigung von Betrieben, die hauptbeteiligt anderen Industriegruppen zugeordnet werden, jedoch auch elektrotechnische Erzeugnisse produzieren. Hierunter fallen vor allem Betriebe, die dem Maschinenbau und der Feinmechanischen Industrie zugerechnet werden;
- in der Berücksichtigung von Betrieben, die hauptbeteiligt der Elektroindustrie zugeschlagen werden, jedoch auch andere als elektrotechnische Erzeugnisse produzieren.

1 Es fehlen die Warenklassen 44, 47, 63, für die keine Gewichtsangaben gemacht wurden.

2 Es fehlen aus o.g. Grund die Warenzweige 38 8930, 54 2611, 54 2615.

Alle in diesem Abschnitt angestellten Überlegungen beziehen sich auf die Gesamtproduktion der Elektroindustrie, ohne Berücksichtigung regionaler Unterschiede in der Produktions- und Absatzstruktur. Ebenfalls außer acht gelassen wurden die Verflechtungen von Teilbetrieben der in Süddeutschland tätigen Konzerne, Lagerverkehre und räumliches Konkurrenzverhalten der Versender. Bei dem noch zu unternehmenden Versuch der Schätzung des Verkehrsaufkommens der VB sollte jedoch wenigstens die regionale Produktionsstruktur als erklärende Größe herangezogen werden.

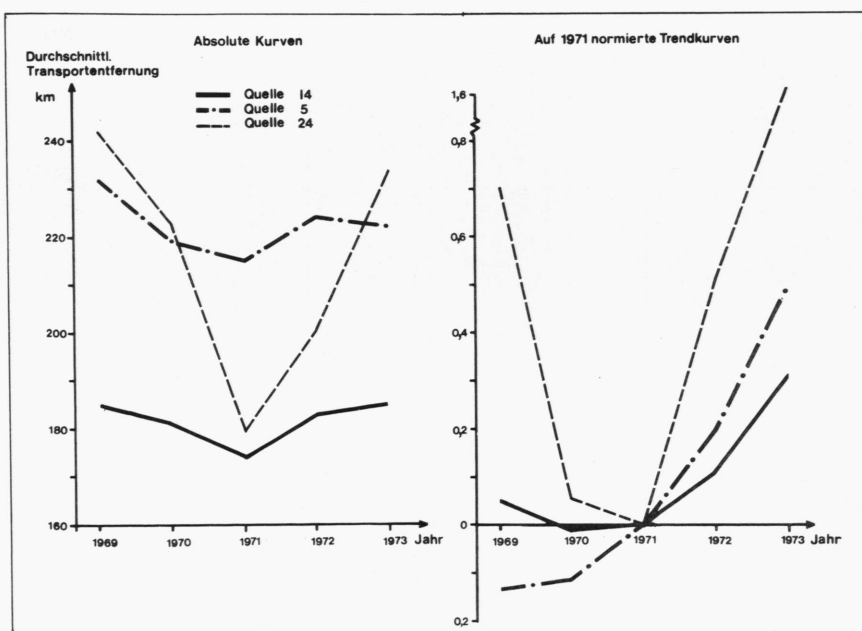
Zum Abschluß noch eine Bemerkung zur Auswahl des Untersuchungsjahres (1972). Wenn auch die räumlich differenzierte Betrachtung des ausgewählten Teilverkehrs im Vordergrund steht, so sollte man nicht übersehen, daß der Verkehr raum-zeitlich variiert, etwa in Abhängigkeit der Konjunktur des übergeordneten Wirtschaftsraumes, der konjunkturellen Zyklen von Teilbranchen der verkehrserzeugenden Industriegruppe und damit letztlich in Abhängigkeit der konjunkturellen Entwicklung der regionalen Produktionsstätten. Um dies zu verdeutlichen, soll ganz kurz ein Abriß der Entwicklung der elektrotechnischen Produktion im Zeitraum von 1969 bis 1973 gegeben werden.

1969 erweist sich als ein Jahr mit unerwartet starker Expansion der Produktion, sowohl im Binnenhandel als auch im Export. Wenn auch 1970 der Konjunkturmehrpunkt überschritten wird, so stabilisiert sich doch die Produktion auf hohem Niveau. Es muß besser von einer gespaltenen Entwicklung gesprochen werden: während die Produktion von Investitionsgütern etwas abfällt, bleiben Gebrauchsgüter weiter gefragt. 1971 setzt sich die konjunkturelle Beruhigung fort. Die Produktion innerhalb des Untersuchungsgebietes wird etwas durch den Streik in Baden-Württemberg Ende 1971 beeinflusst. Das Jahr 1972 bringt noch einmal einen Wachstumsschub bei der Produktion elektrotechnischer Gebrauchsgüter, hingegen Stagnation des Wachstums der Investitionsgüterproduktion. Im Verlauf des Jahres 1973 erfolgt eine zunehmende Abschwächung der Wachstumsraten, wobei lediglich die Produktion von Erzeugnissen der Unterhaltungselektronik ausgenommen bleibt. Sie erfährt eine besonders starke Expansion.

Von dieser konjunkturellen Entwicklung werden die Rahmenbedingungen des Modells, die Aufkommensmengen sowie der Gesamtaufwand im System beeinflusst. So scheinen die durchschnittlichen Versandtransportweiten der VB in ihrer Trendentwicklung von konjunkturellen Faktoren beeinflusst zu sein. Es weisen die Trends der VB 5,14,24, die einen Produktionsschwerpunkt in der Unterhaltungselektronik haben, einen ähnlichen Verlauf auf; die Kurven scheinen aufgrund der unterschiedlichen relativen Lage lediglich maßstäblich verzerrt zu sein (Abb. 43).

Im Hinblick auf die Modellanwendung darf nicht geleugnet werden, daß gerade der Boom in Gebrauchsgütern in 1972 der Approximation des Verkehrs dieses Jahres durch das erweiterte Gravitationsmodell entgegenkommt.

Abb. 43 Verkehr mit elektrotechnischen Erzeugnissen innerhalb Süddeutschlands: Entwicklung der durchschnittlichen Transportweite im Zeitraum von 1969 - 1973 für Quellen ähnlicher Produktionsstruktur



Kartographie E. Ardelean

3.2.3 Verteilung der potentiellen Quellen

Anhand verschiedener Verhältniszahlen soll versucht werden, räumliche Verteilung und Versandgewicht der Betriebe der Elektroindustrie im Untersuchungsgebiet zu beschreiben (TA 15).

Die Werte für die durchschnittliche Betriebsdichte je VB fallen recht unterschiedlich aus und weisen keine räumliche Zufallsverteilung auf (vgl. Abb. 44). Sämtliche bayerischen VB mit Ausnahme der VB 14 und 22 liegen unter dem Mittel von 1,73 Betrieben/100 km².

Nicht von der ungleichmäßigen Flächengröße der VB beeinflusst und dem bei kleinmaßstäblicher Betrachtung punkthaften Charakter industrieller Produktionseinrichtungen besser entsprechend ist die Größe "prozentualer Anteil der VB an den Betrieben im Gesamtsystem". Hier fällt die nahezu Normalverteilung der Werte auf. Der VB Stuttgart ragt als lokales Zentrum für Baden-Württemberg heraus, in Bayern überwiegen Werte, die unter dem arithmetischen Mittel liegen, wobei jedoch keine räumliche Autokorrelation festzustellen ist (vgl. Abb. 45).

Bis jetzt wurde jeder Betrieb für den Versand als gleichgewichtig betrachtet. Da jedoch das Versandaufkommen von der Größe des Betriebes und seiner Produktionsausrichtung abhängig ist, muß nach Hilfsgrößen gesucht werden, die diese regionalen Ungleichgewichte ausdrücken. Die Beschäftigtenzahlen der Betriebe sind nur ein Ersatz und überdies nur unter Beachtung der Geheimhaltungsbestimmungen statistisch ausgewiesen. Dennoch soll zunächst einmal die Durchschnittsgröße Beschäftigte/Betrieb je VB ermittelt werden.

Über dem Durchschnittswert von 392 Beschäftigten je Betrieb für das Untersuchungsgebiet liegen in Baden-Württemberg die VB 1,2,8. Stuttgart erreicht ihn gerade, während das südliche Baden-Württemberg relativ einheitlich mit rund 200 Besch. pro Betrieb erheblich unter dem Mittelwert bleibt (Abb. 46). In Bayern sind es die Zentren 14,22, welche den Mittelwert wesentlich übertreffen; dazu kommen noch die VB 12,16,17,24. Augsburg erreicht ihn, während alle übrigen VB deutlich darunter liegen.

Abb. 44 Elektrotechnische Industrie in Süddeutschland um 1970:
Durchschnittliche Betriebsdichte je VB

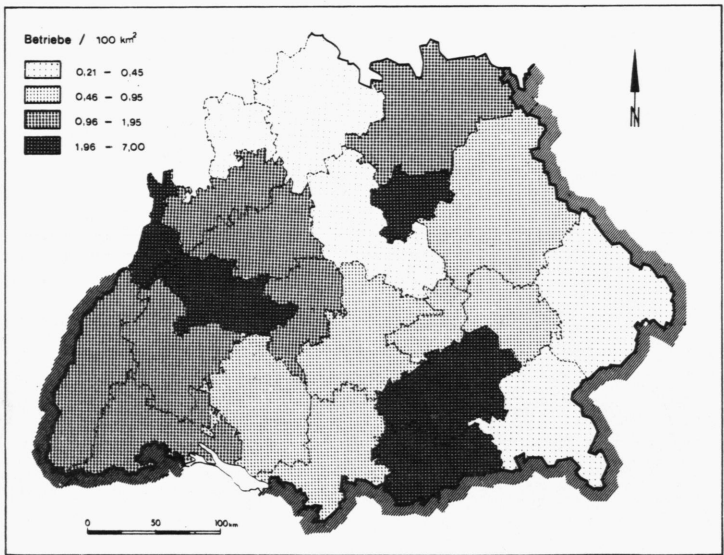
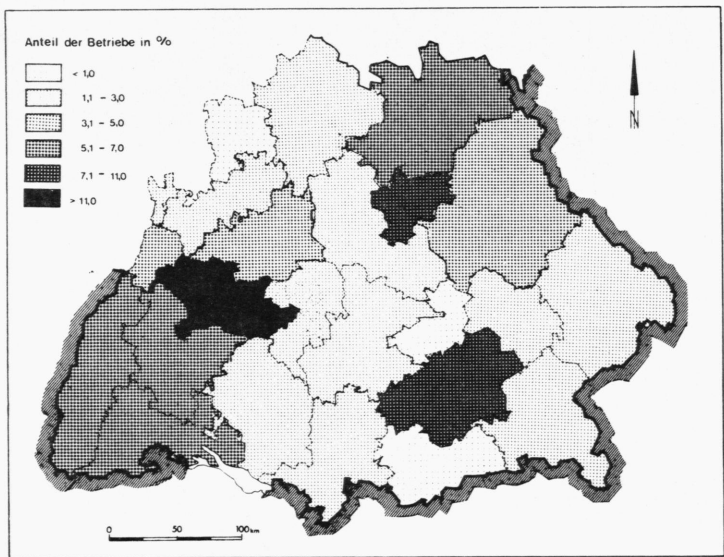
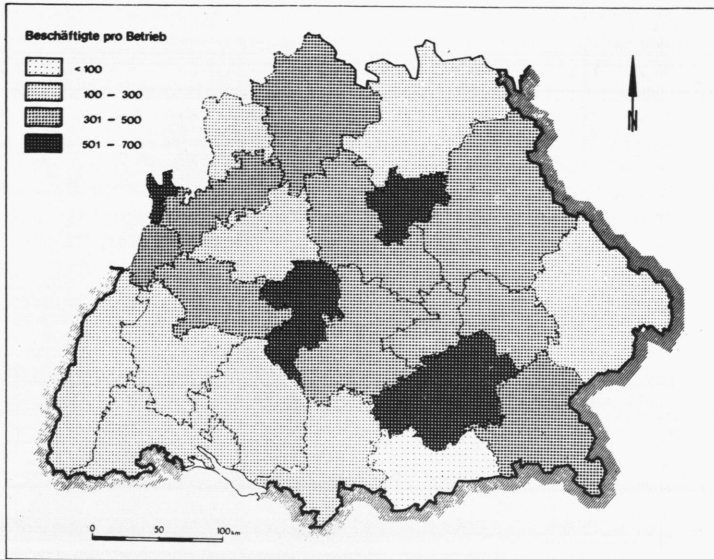


Abb. 45 Elektrotechnische Industrie in Süddeutschland um 1970:
Prozentanteil der Verkehrsbezirke an Betrieben der Elektroindustrie in Süddeutschland



Kartographie E. Ardelean

Abb. 46 Elektrotechnische Industrie in Süddeutschland um 1970:
Beschäftigte je Betrieb im Durchschnitt auf VB-Basis



Kartographie E. Ardelean

Berücksichtigt man die unterschiedliche historische Entwicklung der Elektroindustrie in den beiden Ländern mit dem größeren Anteil an kleineren Produktionsstätten in Baden-Württemberg und der Tendenz zum Großbetrieb in Bayern, indem man die entsprechenden Mittelwerte 343 Besch./Betr. für Baden-Württemberg und 452 Besch./Betr. für Bayern heranzieht, so erhält man geringfügig veränderte Ergebnisse. In Baden-Württemberg liegen jetzt die VB des nördlichen Produktionsgebietes (1,2,7) sowie 8 klar über dem Durchschnitt, VB 3 erreicht ihn, während die südlich gelegenen VB nach wie vor deutlich darunter liegen. Für Bayern gilt, daß außer den Zentren nur noch die VB 12,17 über dem bayerischen Durchschnittswert liegen.

Damit weisen die Werte der VB für die jeweiligen Bundesländer erhebliche und bezogen auf die Landesmittelwerte recht unterschiedliche Standardabweichungen auf. Letztere belaufen sich bei Baden-Württemberg auf 170,8, für Bayern auf 184,4.

Das Bild der unterschiedlichen Ansiedlung der Elektrobetriebe im Untersuchungsgebiet hat also eine Modifikation erfahren. Zwar ragen die Zentren 7,14 und 22 noch heraus, jedoch muß berück-

sichtigt werden, daß die entsprechenden Werte sowohl von den Beschäftigtenzahlen ansässiger Großbetriebe als auch den Angestelltenzahlen der Verwaltungssitze von Großunternehmen beeinflusst sein dürften. Die in jüngster Zeit errichteten Großfertigungsstätten auch in Großstadtferne, vor allem in den bayerischen Grenz-VB, bewirken, daß z.T. dort überdurchschnittliche Werte erreicht werden.

Geht man noch einen Schritt weiter und betrachtet die Streuung der Betriebe innerhalb der einzelnen VB, um Rückschlüsse auf den Fehler zu erhalten, der mit der Wahl eines einzigen Verkehrsschwerpunktes verbunden ist (Aggregationsproblem), in dem alle Versender und Empfänger konzentriert sein sollen, so kann folgende Methode vorgeschlagen werden:

1. Jeder Betrieb wird mit seinen Beschäftigten gewichtet, um eine grobe Abschätzung über sein Versandaufkommen zu haben. Da die genaue Lokalisation nicht immer bekannt ist, hierüber nur kreisweise Information besteht, wird wiederum vereinfachend sein Standort in der Kreisstadt angenommen. Dies ist aus der Sicht der Arbeitsmarktorientierung dieser Industrie sicher in vielen Fällen zutreffend.
2. Aus 1. ergibt sich, daß die räumliche Streuung durch Wichtung der Koordinaten der Kreismittelpunkte mit den Beschäftigten der Elektroindustrie im Kreis ermittelt werden kann. Gleichzeitig kann ein Aufkommensschwerpunkt innerhalb des VB berechnet werden [*, M 7.1].

In Abb. 47 sind die so ermittelten Aufkommensschwerpunkte als Mittelpunkte der Streuungsellipsen zusammen mit den endgültig ausgewählten Verkehrsschwerpunkten eingetragen (vgl. auch TA 14). Betrachtet man zunächst die räumliche Streuung der Beschäftigten in den Einzel-VB, so erkennt man eine breite Palette von Möglichkeiten, die von Klumpung bis zu annähernder Gleichverteilung reicht. Je größer die räumliche Streuung, um so größer die Unge-
wißheit über den zu wählenden Verkehrsschwerpunkt, jedoch um so geringer der Fehler bei Annahme eines vom Schwerpunkt der Verteilung abweichenden Punktes. Bei Heranziehung eines relativen Streuungsmaßes, welches die unterschiedliche Gestalt und Größe der VB schon berücksichtigt, läßt sich feststellen, daß Klumpungen vor allem innerhalb bayerischer VB auftreten, so in den VB Nürnberg,

München, Augsburg, Ingolstadt und Landshut. Hinzu kommt noch VB Mannheim, insofern eine Ausnahme, als dieser VB nur aus Stadt- und Landkreis besteht.

Teils gestreut, teils geklumpt sind die Beschäftigten der Elektrotechnischen Industrie in 10 der 24 VB, wobei 5 in der Mitte und im Südwesten Baden-Württembergs liegen. Räumlich gestreut treten die Beschäftigten der Elektroindustrie in 8 VB auf, worunter sowohl industrialisierte Räume wie Oberfranken und der Nordwesten Baden-Württembergs fallen als auch industrielle Entwicklungsgebiete wie Teile Niederbayerns oder VB Garmisch-Partenkirchen (vgl. TA 14).

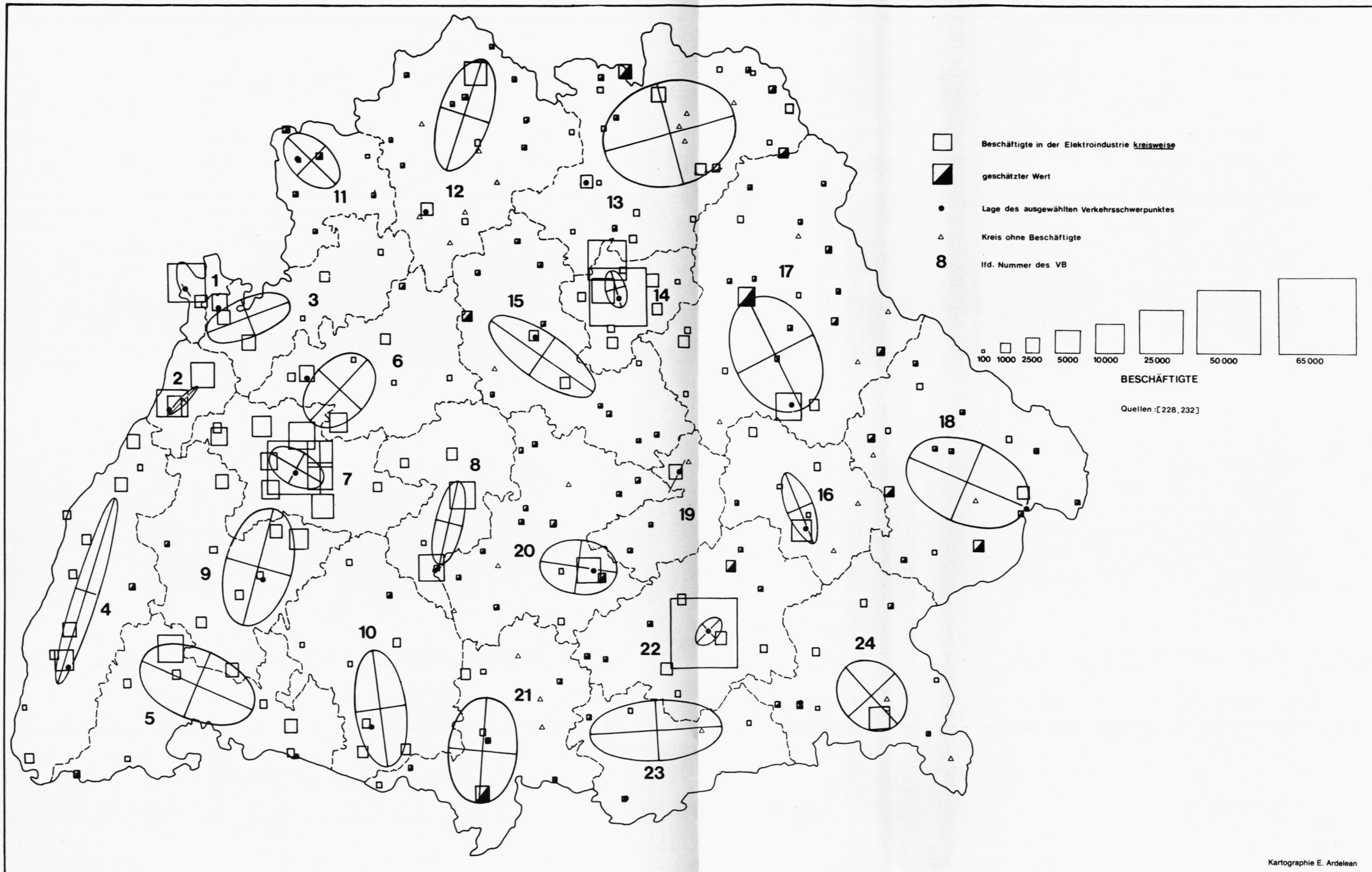
Welche Möglichkeiten bieten sich nun, das Aggregationsproblem bei vorgegebener VB-Einteilung zu lösen? So bietet es sich an, den Verkehrsschwerpunkt in den jeweiligen Ellipsenmittelpunkt zu legen, welcher dem Mittelzentrum, also dem Schwerpunkt der Beschäftigten-Verteilung entspricht. Es kann auch argumentiert werden, daß statt dessen das Medianzentrum gewählt wird, um der Minimierung des potentiellen Verkehrs innerhalb des VB gerecht zu werden.

Diese jeweils errechneten Punkte sind aber insofern ideal, als bspw. dem Mittelzentrum keine die Verteilung charakterisierende Eigenschaft zuzukommen braucht. Weder müssen dort überhaupt elektrotechnische Betriebe ansässig sein, noch müssen die etwa dort ansässigen Betriebe eine Durchschnittsgröße oder -beschäftigtenzahl aufweisen. Auch können die Verkehrsverbindungen zu den übrigen VB extrem ungünstig sein.

So bietet sich als zweiter Weg an, den Verkehrsschwerpunkt in den Punkt mit den meisten Beschäftigten zu verlegen. Wie schon oben ausgeführt, wird für Versand und Empfang nur jeweils ein Verkehrsschwerpunkt je VB gewählt, so daß darauf zu achten ist, daß es sich bei dem Punkt auch um einen empfangsstarken handelt.

Die tatsächlich gewählten Verkehrsschwerpunkte decken sich jedoch mit den aufkommensstärksten Orten der VB für den Gesamtverkehr, lassen also die Möglichkeit offen, andere Teilverkehre mit dem Elektroverkehr zu verknüpfen. Bezieht man die Entfernung zwischen dem Mittelpunkt der S.A.E. und dem gewählten Verkehrsschwerpunkt auf die maximal mögliche Entfernung zwischen je zwei Punkten inner-

Abb. 47 Elektrotechnische Industrie in Süddeutschland um 1970: Beschäftigte nach Kreisen; Beurteilung der Streuung der Beschäftigten innerhalb der VB durch Angabe der Standardabweichungsellipse



halb des VB, dann erhält man ein vergleichbares Maß, wie sehr beide Punkte auseinanderklaffen (vgl. TA 14). So liegen 11 der 24 Schwerpunkte näher als 10% der maximal möglichen Entfernung und nur 2 Punkte zwischen 33% und 43%. Am weitesten entfernen sich die gewählten VB-Schwerpunkte von den ermittelten Schwerpunkten der Beschäftigten-Verteilungen in den VB Konstanz, Würzburg, Bamberg, Passau, Garmisch-Partenkirchen und Rosenheim.

Wenn auch die Beschäftigten mit vielen Einschränkungen als ein Maß für die Betriebsgröße angesehen werden können, so sind sie sicher nicht ein Maß für das Verkehrsaufkommen des Betriebes. Denn die Arbeitsintensität für die Produktion elektrotechnischer Güter ändert sich von Warenklasse zu Warenklasse; außerdem sind die Produktionsbedingungen (bspw. Modernisierungsgrad, technischer Stand der Produktion) zu verschieden und letztlich fällt das "spezifische Gewicht" des Endproduktes¹ ganz unterschiedlich aus.

Zur Überprüfung obiger Zweifel soll die Größe "Versand (einschließlich Binnenverkehr) pro Betrieb" gebildet werden (vgl. TA 15). Die Werte schwanken zwischen 2843 t/Betr. (VB 8) und 156 t/Betr. (VB 16), wobei VB 8 zwar erheblich, jedoch auch VB 16 über dem Durchschnitt der Betriebsgröße des Gesamtsystems lagen. Auch VB 22 liegt mit 270 t/Betr. weit unter dem Durchschnitt. Neben Differenzen sind Übereinstimmungen zu beobachten: so liegen die Werte für das südbaden-württembergische Produktionsgebiet (4,5,9,10) einheitlich bei etwa 480 t/Betr. und unter dem Durchschnitt wie bei der Betriebsgröße.

Ein Vergleich, inwieweit Beschäftigtenzahlen und Aufkommen doch übereinstimmen, wird im nächsten Abschnitt geführt.

1 Gemeint ist: das Gewicht der kleinsten ökonomisch sinnvollen Verkaufsmenge des Produktes ab Fertigungsstätte.

3.2.4 Versuch der Erklärung des regionalen Versandaufkommens

Es wird eine einfache lineare Regression

$$y = a \cdot x + b$$

y: Gesamtversand des VB einschl.
Binnenverkehr in 1972

x: Beschäftigte der Elektroindustrie
in 1970/72

durchgeführt, wobei der Korrelationskoeffizient $r = 0,795$ recht hoch ist. Dennoch zeigt eine Residuenanalyse, daß grobe Fehlschätzungen vorliegen (vgl. TA 24).

Bezieht man die Abweichungen auf die Standardabweichung, so ergeben sich in 7 der 10 baden-württembergischen Fällen gute Schätzungen, wobei sich auch Unter- und Überschätzungen die Waage halten. Überschätzt wird VB 6 Heilbronn, während VB 2 Karlsruhe und VB 8 Ulm sehr stark unterschätzt werden.

In Bayern werden Unterfranken, VB 18,20 und 23 gut repräsentiert. Stärker ins Gewicht fallende Unterschätzungen liegen für VB 15 und 24 vor, stärkere Überschätzungen für VB 16 und VB 17. Extreme Unterschätzungen weisen Oberfranken und Nürnberg auf, die größte Abweichung (Überschätzung) kann bei VB 22 festgestellt werden.

Nach den Bemerkungen im vorhergehenden Abschnitt sollten dann bessere Ergebnisse erzielt werden, wenn auch die lokale Produktionsstruktur in die Berechnung eingeht. Dies wird wie folgt zu erreichen versucht:

- (i) Ermitteln der Produktionsausrichtung (auf der Ebene von Warenklassen) der Betriebe eines VB;
- (ii) Feststellen der gewichtsmäßigen Produktion eines Beschäftigten für eine bestimmte Warenklasse und innerhalb eines Jahres;
- (iii) Modifizieren der Beschäftigtenzahlen der VB je nach Produktionsausrichtung. Durchführen einer weiteren Regression.

ad (i). Anhand dreier Adreßbücher ([115],[264],[265]) konnte ein Sample von 290 Betrieben gewonnen werden. Das entspricht etwa 22% der im Untersuchungsgebiet ansässigen Elektrobetriebe. Für jeden

dieser Betriebe sind die Hauptproduktionsrichtungen und die Beschäftigten bekannt. Gibt es mehrere Produktionsrichtungen, werden die Beschäftigten nach den Verhältnissen in der BRD aufgeteilt (vgl. hierzu [267], Tab.14). Der regionale Repräsentationsgrad dieses Zahlenmaterials ist recht unterschiedlich (vgl. TA 16). So schwankt der prozentuale Anteil der je VB erfaßten Betriebe zwischen 10 und 30, derjenige der Beschäftigten zwischen 5 und 83. Daran erkennt man, daß es vor allem größere Betriebe sind, die in den branchenüblichen Adreßbüchern firmieren und daß die räumliche Verteilung der Großfirmen nicht mit der allgemeinen Verteilung übereinstimmen muß. Zudem kommt noch, daß die großen Elektrokonzerne, deren Betriebe über den ganzen Untersuchungsraum gestreut sind, in diesen Handbüchern und Adreßwerken ohne die gewünschte regionale Gliederung ihrer Aktivitäten charakterisiert werden.

ad (ii). Hierzu wird die "Jahresproduktion je Beschäftigten in t nach Warenklassen" benötigt, wie sie aus entsprechenden Unterlagen des ZVEI und der amtlichen Produktionsstatistik ermittelt und in Tab. 17 des TA aufgeführt sind. Betrachtet man diese Werte, so ergeben sich ganz entscheidende Unterschiede. Für die (bspw. in VB 2 Karlsruhe) mit der Herstellung von Elektrowärmegeräte (Herde, Öfen) Beschäftigten kann ein Faktor 11 herangezogen werden, bei der Produktion von Meß-, Prüf-, Regel- und Steuereinrichtungen (bspw. stark in VB 22 München vertreten) liegt er unter 1.

ad (iii). Die in (ii) ermittelten "Produktivitätsfaktoren" je Beschäftigten und Warenklasse werden mit den in den entsprechenden Produktionsrichtungen des VB beschäftigten Personen multipliziert und zu einem für den VB repräsentativen Durchschnitts-"Produktivitätsfaktor" zusammengezogen (vgl. TA 16/17). Letzterer wird herangezogen, um die Beschäftigtenzahlen des VB zu modifizieren.

Betrachtet man die den VB zugeordneten Produktivitätsfaktoren, so ergeben sich durchaus hohe Werte (VB 2,8,13,15), wo bisher z.T. kräftige Unterschätzungen des Versandaufkommens zu verzeichnen waren und relativ niedrige Werte (z.B. für VB 16,22) mit ehemals Überschätzungen. Andererseits gibt es Werte (z.B. für VB 1), die zu hoch ausfallen, weil Produktionsstätten eines Konzerns (BBC)

nicht berücksichtigt werden konnten, niedrige Werte (VB 24), wo ebenfalls die Erfassungsbasis der Betriebe zu schmal ist.

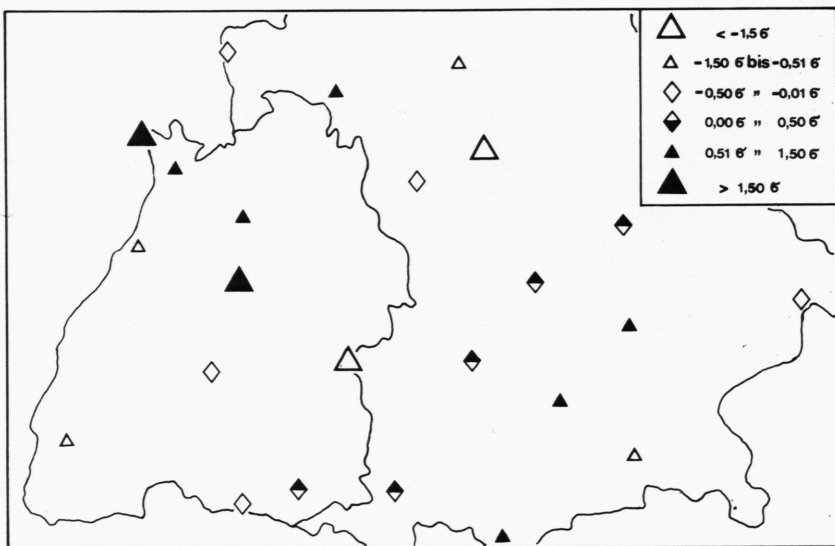
Die Durchführung der Regression

$$y = a \cdot p \cdot x + b$$

y : Gesamtversand des VB im Jahr 1972
 p : aus Sample gewonnener Produktivitätsfaktor
 x : Beschäftigte der Elektroindustrie in 1970/1972

erbringt ein verbessertes Ergebnis ($r=0,90$). Insgesamt bleiben die Vorzeichen der Residuen nahezu unverändert, lediglich die Beträge nehmen durchschnittlich ab. Der Standardfehler der Regression reduziert sich von 29 751 auf 21 262, was man beim Vergleich der standardisierten Residuen zu beachten hat (vgl. TA 25, Abb. 48).

Abb. 48 Verkehrsaufkommen und Produktionsstruktur: Standardisierte Residuen der Regression der Aufkommenschätzung mit Hilfe der Produktivitätsfaktoren



Kartographie E. Ardelean

Als erste Schlußfolgerung aus der durchgeführten Untersuchung ist zu ziehen, daß im industriellen Bereich Beschäftigte zur Berechnung der Kontaktintensität zwischen räumlichen Erhebungseinheiten nicht ohne Modifikation herangezogen werden können. Darin unterscheiden sich die Analysen des Personen- und Güterverkehrs.

Die zweite Schlußfolgerung berührt die Frage, inwieweit aus Strukturdaten Funktionaldaten geschätzt werden. Im vorliegenden Fall kann der Nachweis eines Zusammenhangs zwischen regionaler Produktionsstruktur und Verkehrsaufkommen erbracht werden. Aber dieser Zusammenhang wird nicht im Verkehrsverteilungsmodell berücksichtigt, wenn nur noch die reinen Versandmengen auf die Einzelrelationen verteilt werden. Dann kann nicht mehr unterschieden werden, ob das Verkehrsaufkommen eines VB deshalb so groß ist, weil er viele Produktionsstätten beherbergt, die Glühlampen produzieren oder dort nur ein Betrieb ansässig ist, der Akkumulatoren herstellt. In diesem Sinn kann nicht davon gesprochen werden, daß aus der regionalen Struktur Funktionaldaten geschätzt würden.

3.2.5 Versand- und Empfangsaufkommen; Aufteilung auf Verkehrsträger

Die Verkehrsstrommatrix "GGR 931, 1972, Süd, Gesamt" (vgl. TA 19) ist aus den beiden Teilmatrizen

- Bahn (Wagenladungsverkehr mit der GGR 931)
- LKW (Fernverkehr ohne Stückgut mit der GGR 931)

durch Addition hervorgegangen. Die Binnenschifffahrt spielt für diesen Verkehr innerhalb Süddeutschlands keine Rolle. Zur Addition der beiden Teilmatrizen ist zu bemerken, daß hierbei die Gefahr von Doppelzählungen durch Nichtbeachten des Binnenverkehrs der VB gemindert ist. Sollte sich weiterhin herausstellen, daß LKW und Bahn i.a. verschiedene Produktgruppen transportieren, so verliert dieser Fehlerfaktor stark an Bedeutung. Wesentlich stärker ins Gewicht fällt dagegen das Fehlen des Stückgutverkehrs, der in seinem Umfang nicht geschätzt werden kann.

Die relative Bedeutung des Teilverkehrs innerhalb der Abteilung 9 (Halb- und Fertigprodukte), jedoch ohne HGR 99 und bezogen auf ganz Süddeutschland für das Jahr 1972 entnimmt man der folgenden Zusammenstellung.

Aufgliederung des in Süddeutschland abgewickelten Verkehrs der Abteilung 9 (1972), ohne HGR 99

HGR	GGR	1 000 t	%
91		543,1	7,9
92		56,7	0,8
93		690,3	10,1
	931	(371,5)	(5,4)
	939	(318,8)	(4,7)
94		1 192,5	17,4
95		601,2	8,8
96		323,6	4,7
97		3 445,9	50,3
Summe		6 853,3	100,0

Quelle: Statist.Bundesamt [230;231]; eigene Berechnungen, B. Güterfernverkehr [44].

Mit 5,4% Gewichtanteil fällt die GGR 931 innerhalb der Abteilung 9 (ohne HGR 99) nicht ins Gewicht. Dabei sollte jedoch beachtet werden, daß das Durchschnittsgewicht einer Sendung mit Elektrowaren wesentlich geringer ist als dasjenige von Produkten der Fahrzeugindustrie oder des Maschinenbaus. Insofern zeigt der Gewichtsanteil nicht an, ob die beobachteten Interaktionen bei der GGR 931 sich in Richtung und Intensität wesentlich von denjenigen in anderen Gütergruppen oder Güterhauptgruppen unterscheiden. Es sei noch darauf verwiesen, daß wertmäßig diesem Teilverkehr eine viel größere Bedeutung zukommt.

Die Regionalisierung der eben angestellten Betrachtung ist in Tab. 18 des TA ersichtlich. Die angegebene prozentuale Aufteilung des Versands innerhalb Süddeutschlands weist für die GGR 931 recht unterschiedliche Werte auf, die zwischen den Extrema 0,9% (VB 23)

und 14,9% (VB 14) liegen. Vergleicht man sie jedoch mit den ermittelten Produktivitätsfaktoren in Verbindung mit den Residuen der zweiten Regression, so lassen sich überraschende Übereinstimmungen feststellen. So korrespondieren die hohen Anteilswerte von VB 2,8, 13,14,15,24 mit hohen Produktivitätsfaktoren bzw. kräftigen Unterschätzungen, die relativ niedrigen Anteilswerte von VB 3,6,10,16,22 mit niedrigen Produktivitätsfaktoren bzw. Unterschätzungen. Es hängen also die Anteilswerte nicht nur von der Art und dem Auftreten der übrigen Industrie im VB ab, sondern auch von der Produktionsausrichtung der Elektrotechnischen Industrie.

Räumliche Verteilung der Versand- und Empfangsmengen

In den vorangegangenen Abschnitten wurden die Gesamtversandmengen der einzelnen VB zu Berechnungen herangezogen. Für die weiteren Betrachtungen wird der innerhalb Süddeutschlands abgewinkelte Verkehr betrachtet. Die entsprechenden Versand- und Empfangsmengen für die einzelnen VB sind in Tab. 21 des TA angegeben.

Unterstellt man, daß sich gemäß den Ergebnissen des Abschnittes 3.2.4 der Versand innerhalb Süddeutschlands eines Verkehrsbezirks durch die in der Elektroindustrie Beschäftigten, modifiziert mit einer Produktivitätskennziffer erklären läßt, so ist die räumliche Ungleichverteilung dieser Größe u.a. den folgenden Einflußgrößen zuzuschreiben:

- ungleiche räumliche Erhebungseinheiten,
- ungleiche Standortwahl der Elektroindustrie,
- ungleiche Produktionskapazitäten,
- ungleiches "spezifisches Gewicht" der Produktion.

Eine Abschätzung der einzelnen Einflußanteile ist bei der unzureichenden Datenbasis nicht möglich. Statt dessen soll die räumliche Verteilung von Versand- und Empfangsmengen mit Hilfe der S.A.E. für die Punktmuster 'Hexagonal' (auf Süd-VB umgeordnet) und 'Süd-VB' verglichen werden (vgl. Tab. 11 und die Abb. 49/50).

Tabelle 11

Charakterisierung der räumlichen Verteilung der Versand- und Empfangsmengen der VB mit Hilfe der Parameter der S.A.E.-Punktmuster 'Hexagonal' und 'Süd-VB'

Ellipsenparameter	V e r s a n d		E m p f a n g	
	Hexag.	Süd-VB	Hexag.	Süd-VB
Flächenanteil	43,676	37,692	46,333	39,359
Exzentrizität	0,824	0,728	0,740	0,750
Konzentration (in %)	45,0	30,0	18,0	25,0
Richtungswinkel (in Grad)	12,444	5,756	6,862	- 3,199

Eindeutig läßt sich herauslesen, daß die Versandmengen nicht nur wertmäßig, sondern auch räumlich ungleichmäßiger verteilt sind als die Empfangsmengen. Dabei weichen die erkennbaren Ausrichtungen der Punkte mit extrem hohen Versandwerten in beiden Fällen gleichsinnig von der Punktausrichtung bei Gleichverteilung ab (vgl. Tab. 10): die Hauptachsen der entsprechenden S.A.E. verlaufen WSW-ENE. Eine Gegenüberstellung der Parameter für die beiden Punktmuster mit Gewichtungen durch die Aufkommensmengen ist in Tab. 12 versucht.

Tabelle 12

Verteilung der Versand- und Empfangsmengen im Vergleich zur Gleichverteilung (Tab. 10), untereinander und zwischen den Punktmustern anhand der Parameter der S.A.E.

<u>Quotienten</u> <u>Ellipsenparameter</u>	H e x a g o n a l			S ü d - V B		
	$\frac{V}{G}$	$\frac{E}{G}$	$\frac{V}{E}$	$\frac{V}{G}$	$\frac{E}{G}$	$\frac{V}{E}$
Fläche	0,81	0,86	0,94	0,84	0,87	0,96
Exzentrizität	1,37	1,23	1,11	1,09	1,13	0,97
<hr/>						
<u>Reihungen</u>						
Konzentration	45 (V)	21 (G)	18 (E)	30 (V)	25 (G)	25 (E)
Richtungswinkel	- 1 (G)	7 (E)	12 (V)	- 15 (G)	- 3 (E)	6 (V)

G: = steht für Gleichverteilung.

Abb. 49 Verkehr mit elektrotechnischen Erzeugnissen innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Räumliche Streuung der Aufkommensmengen um das gewichtete Medianzentrum bei Punktmuster 'Hexagonal', auf 'Süd-VB' umgeordnet

Abb 49.1

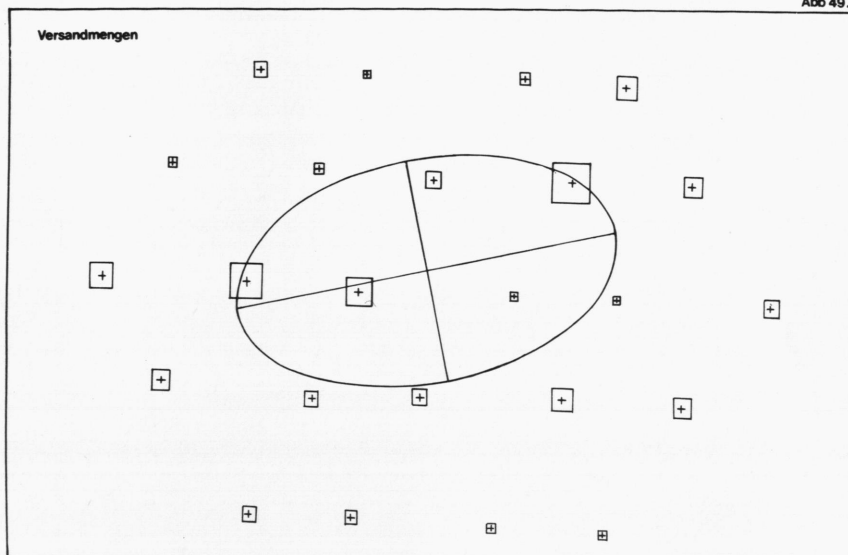
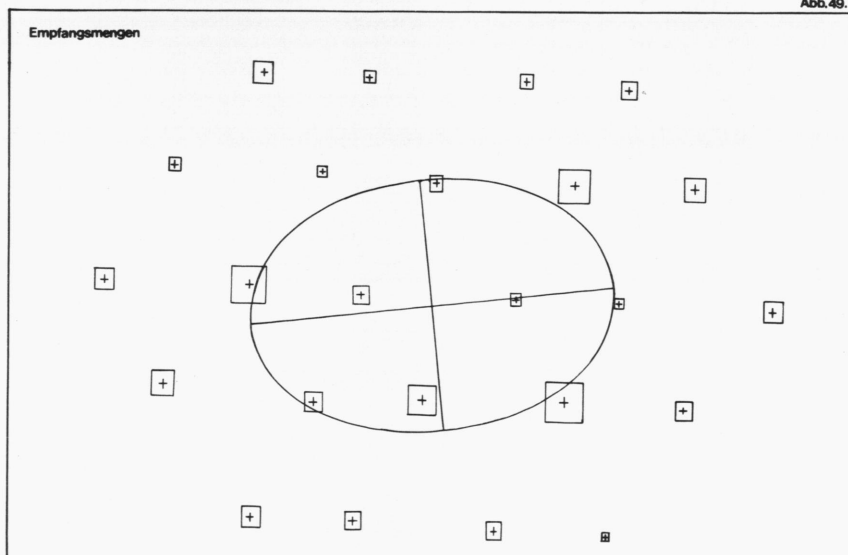
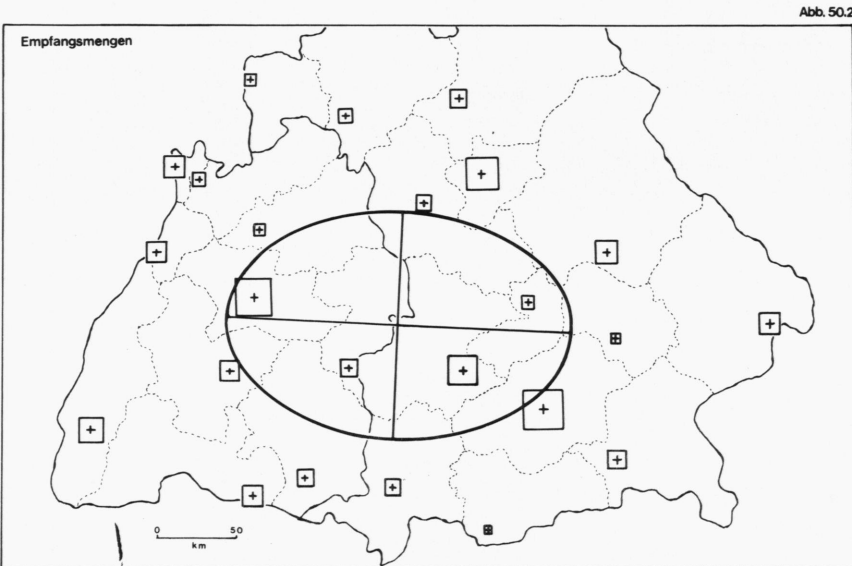
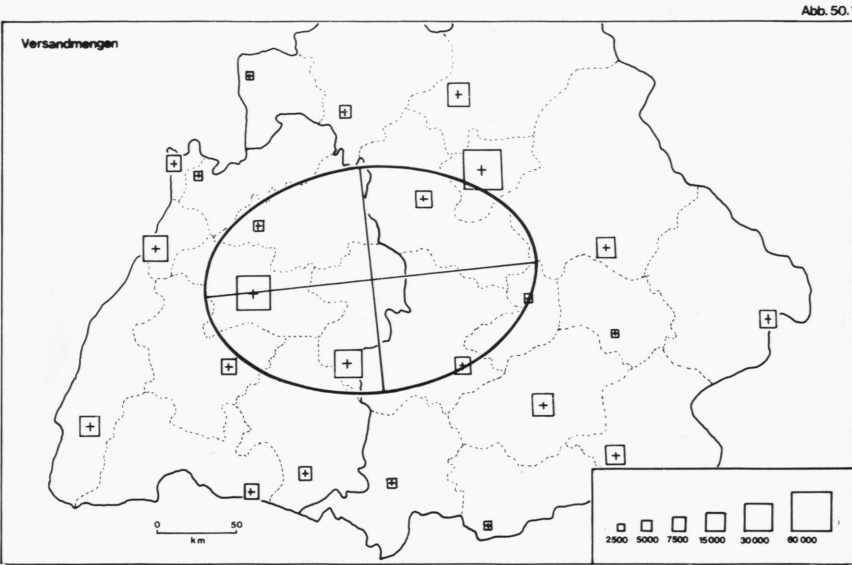


Abb.49.2



Kartographie E. Ardelean

Abb. 50 Verkehr mit elektrotechnischen Erzeugnissen innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Räumliche Streuung der Aufkommensmengen um das gewichtete Medianzentrum bei Punktmuster 'Süd-VB'



Kartographie E. Ardelean

Quotientenbildungen und Reihungen der Ellipsenparameter zeigen im zeilenweisen Vergleich ein hohes Maß an Übereinstimmung der beiden Punktmuster. So nimmt die Fläche als Kennzahl der räumlichen Streuung von links nach rechts für beide Punktmuster relativ zu, die Exzentrizität ab. Bei Konzentration und Richtungswinkel ergeben sich die gleichen Reihungen der Parameterwerte für die beiden Punktmuster. Berechnet man noch die Abstände der jeweiligen Ellipsen-Mittelpunkte voneinander, erhält man:

	d(E,G)	d(V,G)	d(V,E)
Hexagonal	0,83	0,57	0,29
Süd-VB	0,78	0,55	0,28

In beiden Fällen liegen die räumlichen Schwerpunkte der Versand- und Empfangsmengenverteilungen im Vergleich zum Punktmusterschwerpunkt (Gleichverteilung) benachbart, wobei der Schwerpunkt der Versandmengenverteilung letzterem noch am nächsten ist.

Alle diese Übereinstimmungen und Gleichsinnigkeiten in den durchgeführten Reihungen stützen die vorgenommene Übertragung der Punkte von 'Süd-VB' in das Punktmuster 'Hexagonal'.

Aufteilung auf Verkehrsträger

Die Aufteilung des Verkehrs auf die Verkehrsträger (vgl. TA 21) zeigt ein deutliches Übergewicht des LKW-Fernverkehrs, welches sich bei Berücksichtigung des Nahverkehrs noch erhöhen würde. Mit rund 78% Anteil am Gesamtaufkommen innerhalb Süddeutschlands wird mehr als dreimal soviel auf der Straße befördert als auf der Schiene. Jedoch streuen die Anteilswerte von Bahn- und LKW-Fern im Untersuchungsgebiet erheblich, vor allem beim Versand der VB.

So versenden 9 VB weniger als 5% mit der Bahn, 13 VB weniger als 15%, 21 VB weniger als 30%. Nur die Verkehrsbezirke 8 (Ulm), 15 (Ansbach) und 24 (Rosenheim) haben Anteile zwischen 70% und 73%. Als Erklärung kann kaum die ungleichmäßige Erschließung des Raumes durch das Streckennetz der Bahn angeführt werden, denn die überwiegende Zahl der Standorte verfügt über einen Bahnanschluß, jedoch nur ein geringer Teil der Betriebe über einen eigenen Gleisanschluß. Charakterisiert man die Verteilung der potentiellen

Empfänger als räumlich gestreut, so entstünde bei Einbeziehung der Bahn eine gebrochene Transportkette mit Umladung auf LKW jeweils bei Zu- und Abgang von der Bahnstation. Dem steht entgegen, daß ein Großteil der elektrotechnischen Produktion - gerade von Betrieben im süddeutschen Raum - hohe Anforderungen an den Transport hinsichtlich Verpackung und Verladung stellt. Damit dürften containerfähige Waren sowie schwere, unhandliche Ladungen wie z.B. Kabelrollen der Bahn vorbehalten bleiben. Weiterhin könnte in geringem Umfang Gleisanschlußverkehr zwischen Zweig- oder Teilwerken eine gewisse Rolle spielen.

Diese Überlegungen, die darauf abzielen, der Bahn eine andere Aufkommensstruktur (hinsichtlich der beförderten Produkte) zu unterstellen als dem LKW, werden durch die nachfolgende Untersuchung gestützt, jedoch keinesfalls bewiesen: Führt man zur Erklärung der Residuen der ersten Regression des Abschnittes 3.2.4 (vgl. TA 24) noch folgende Regression durch:

$$y = a \cdot x + b$$

y: Residuum in Einheiten des Standardfehlers

x: Anteil des Bahnversands am süddeutschen Gesamtversand

so erhält man einen Korrelationskoeffizienten von $r = -0.65$. Das heißt: bei hohem Bahnanteil erhält man in der ersten Regression Unterschätzungen, bei niedrigem Bahnanteil Überschätzungen. Da die Residuen andererseits auch durch Einführung der Produktivitätsfaktoren betragsmäßig vermindert wurden, liegt der Schluß nahe, daß der Anteil der Bahn am Versand mit der Produktionsstruktur des VB zusammenhängt.

3.3 DARSTELLUNG DER BEOBACHTETEN VERKEHRSTROMMATRIX ANHAND DER GEWICHTSVERTEILUNG, DER ZIELAUSWAHL UND DER DURCHSCHNITTlichen TRANSPORTWEITE

3.3.1 Beschreibung der Gewichtsverteilung

Ordnet man die Versandmengen der von einem VB ausgehenden Relationen absteigend nach ihrem Gewicht, so erhält man eine Verteilung der im Erhebungszeitraum abgewickelten Güterbewegungen, aufsummiert nach den räumlichen Erhebungseinheiten und Gewichten. Diese Verteilung sagt nichts aus über die räumlich differenzierte Nachfrage nach Gütern des Versand-VB, da noch keine Beziehung der Einzelwerte der Verteilung zu den Zielen besteht und sie ist rein zufälliger Art, ändert sich von Jahr zu Jahr. Es erweist sich jedoch, daß der Verteilungstyp konstant bleibt über aufeinanderfolgende Jahre.

Für die überwiegende Zahl der süddeutschen VB bestätigt sich die Hypothese, daß es sich bei den beobachteten Werten um eine Gamma-verteilung handelt, deren Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktion durch

$$(20) \quad f(x) = \begin{cases} 0 & \text{für } x \leq 0 \\ \frac{b^p}{\Gamma(p)} x^{p-1} e^{-bx} & \text{für } x > 0 \end{cases}$$

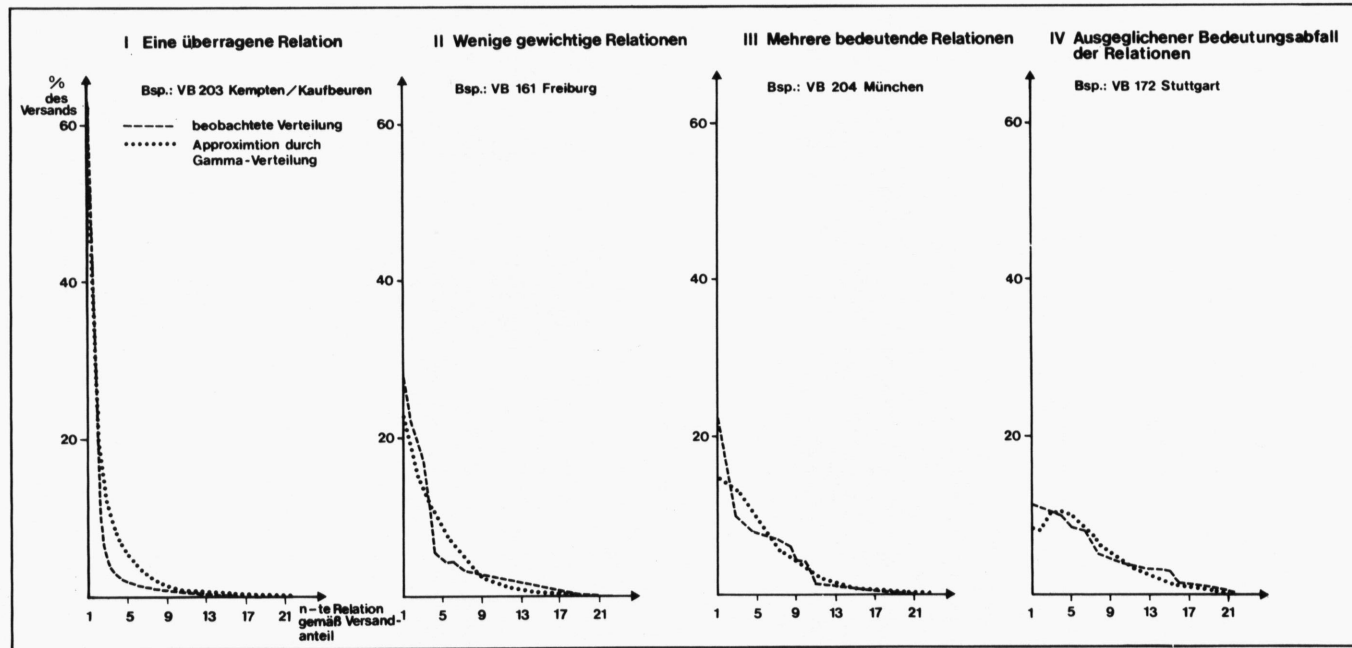
gegeben ist.¹

Die Hypothese wird nach dem üblichen Vorgehen durch Bestimmen der Parameter b und p und nachfolgender Durchführung eines χ^2 -Testes überprüft. Mit Hilfe der beiden Verteilungsparameter kann weiterhin eine Untersuchung auf Ähnlichkeiten der beobachteten Verteilungsfunktionen angeschlossen werden. Sie ergibt die Gruppierung nach vier beobachteten idealtypischen Ausprägungen (vgl. Abb. 51):

I	VB	8, 10, 17, 18, 21
II	VB	4, 11, 12, 16, 19, 24
III	VB	1, 2, 3, 6, 13, 14, 15, 22, 23
IV	VB	5, 7, 9, 20

¹ Hiermit wird die von Harris [105] angenommene Verteilungsfunktion für einen Teilverkehr bestätigt.

Abb. 51 Verkehr mit elektrotechnischen Erzeugnissen innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972:
 Γ -Funktionstypen der nach absteigendem Gewicht geordneten Versandverteilung



Kartographie E. Ardelean

In den Gruppen I und II sind fast ausschließlich VB zu finden, deren Nachbarschaftsbeziehungen wesentlich ihre Verkehrsverteilung beeinflussen. Hierin mag wieder die entsprechende Produktionsausrichtung zum Ausdruck kommen. Aber auch der Umstand, daß in Süddeutschland Elektrokonzerne von Weltgeltung Betriebsnetze aufgebaut haben, deren Teile untereinander durch Güteraustausch in Verbindung stehen. Leider kann ein Nachweis für diese Vermutung nicht erbracht werden.

In den Gruppen III und IV sind VB zusammengefaßt, denen man in der Regel ein breiteres Produktionsspektrum unterstellen darf. Dies trifft vor allem für die Zentren der elektrotechnischen Industrie sowie für die VB 13,5 und 9 zu.

Als Ergebnis dieser Untersuchung ist festzuhalten, daß die Parameter der Gewichts-Verteilungsfunktion räumlich variieren, und zwar

- sowohl beeinflußt von der relativen Lage des VB
- als auch beeinflußt von seiner Produktionsausrichtung.

3.3.2 Zielauswahl

Die Kenntnis des in 3.3.1 gefundenen Verteilungstyps legt nahe, sich bei der Untersuchung der Zielauswahl zunächst auf wenige Relationen zu beschränken. Tatsächlich werden in den gewichtsmäßig fünf ersten Versandrelationen jedes VB über die Hälfte seines Verkehrs abgewickelt. In Tab. 22 des TA ist eine Aufstellung der fünf ersten Versandziele und ihre Klassifizierung nach Nachbarschaften 1., 2., ..., k-ter Ordnung angefertigt.

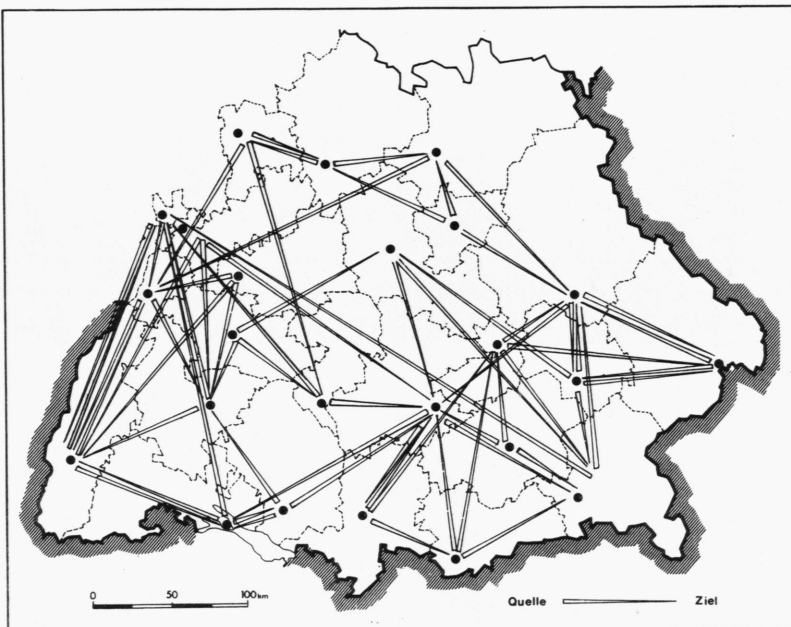
Die erhaltenen Ergebnisse der Klassifikation lassen folgende Interpretation zu:

- (i) es bestehen zwei große Interaktionsblöcke, die jeweils von den VB der beiden Länder gebildet werden;

- (ii) übergreifende Interaktionen finden in der Regel im Kontakt mit dem Zentrum (den Zentren) des anderen Bundeslandes statt, sowie mit VB aus der Nachbarschaft oder weiteren Empfangsschwerpunkten des Nachbarlandes;
- (iii) innerhalb der Interaktionsblöcke wird der Verkehr bevorzugt mit Nachbarn 1. und 2.Ordnung abgewickelt, wobei nicht verkannt werden soll, daß dabei die relative Lage des Versenders und die Empfangsverteilung eine entscheidende Rolle spielen.

Man vergleiche zu dieser Interpretation die Abb. 52.

Abb. 52 Verkehr mit elektrotechnischen Erzeugnissen innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Die gewichtsmäßig fünf bedeutendsten Versandrelationen ohne VB 7, 14, 22 als Ziele



Kartographie E. Ardelean

Bevor im folgenden daran gegangen werden soll, diese Zielauswahl ohne Berücksichtigung der Gewichte der Ziele modellmäßig nachzubilden, soll noch auf diejenigen VB aufmerksam gemacht werden, welche alle fünf ersten Empfangsrelationen innerhalb der Nachbarschaften 1. und 2.Ordnung haben:

VB 10, 16, 17, 19, 20, 21.

Zählt man die Zentren als Ziele nicht mit, so kommen hinzu:

VB 4, 12, 14, 18, 22, 23.

Man beachte, daß hierunter lediglich zwei baden-württembergische VB fallen, die sich ebenso wie die VB 12, 16, 17, 18, 19, 21 in den Gruppen I und II des Abschnitts 3.3.1 befinden.

3.3.3 Versuch, mit Hilfe eines einfachen wahrscheinlichkeits-theoretischen Modells, die in 3.3.2 dargestellte Zielauswahl - ohne Beachtung der zugehörigen Gewichtsverteilung - zu approximieren

a) Urnenmodell und seine Voraussetzungen

Um die Zielauswahl der n größten Relationen beim Versand durch die einzelnen VB modellhaft nachzubilden, wird abstrahiert von den Mengen, die in diesen Relationen versandt werden. Weiter wird angenommen, daß die Auswahl zwar in der richtigen Reihenfolge (also die Relation mit dem größten Gewicht zuerst, dann die nach absteigenden Gewichten geordneten 2., 3., ..., n -ten Relationen), aber ohne Konkurrenzeinflüsse der übrigen VB erfolgt. Dann stellt sich das benutzte Urnenmodell wie folgt dar [*, M 7.3]:

In einer Urne sind - Binnenverkehr ausgeschlossen - 23 Kugeln, stellvertretend für die 23 möglichen Ziele, welche so beschaffen sind, daß die Wahrscheinlichkeit ihrer Ziehung mit der durch die jeweils aufgestellte und zu testende Hypothese über die Zielauswahl der VB in Einklang steht. Nacheinander werden nun n Ziehungen ohne Zurücklegen vorgenommen und die Wahrscheinlichkeit der so ermittelten Reihenfolge der ersten n Ziele berechnet.

b) Signifikanztest

Zur Überprüfung der nachfolgend aufgestellten Hypothesen wird folgendes Verfahren angewandt:

Die beobachtete Reihenfolge der ersten n Versandziele eines VB wird als unter der Hypothese mit dem obigen Modell erzeugt betrachtet, ihre berechnete Wahrscheinlichkeit im folgenden als Testgröße verwandt. Da wegen der großen Anzahl der möglichen Reihungen von n Zielen eine rechnerische Ermittlung der Parameter der zugrunde liegenden Verteilung ausscheidet, welche zur Durchführung eines Signifikanztestes benötigt würden, wird ersatzweise ein Monte-Carlo-Verfahren (Hope-Verfahren; [114]) angewandt. Hierzu werden unter der zu testenden Hypothese 99 weitere solcher Ziehungen gesampelt und dann durch Vergleich mit der Testgröße das Signifikanzniveau für Annahme oder Ablehnung der Hypothese für den gerade untersuchten VB ermittelt.

Ein Vergleich der VB untereinander, wie gut ihre Zielauswahl von der Hypothese erklärt wird, ist über einen Vergleich ihres Signifikanzniveaus möglich, nicht über die berechneten Wahrscheinlichkeiten ihrer Zielauswahl, da diese wegen des fehlenden Binnenverkehrs unvergleichbar sind.

c) 1.Hypothese:

Für die Auswahl und Reihung der ersten n Ziele sind allein deren Empfangsmengen entscheidend.

Gemäß dieser Hypothese kommt jeder Kugel die Wahrscheinlichkeit zu, welcher der Empfangsmenge des von ihr repräsentierten Zieles proportional ist. Das Ergebnis ist in Tab. 31 des TA dargestellt und kann wie folgt interpretiert werden (vgl. auch Abb. 53):

Bemißt man die Rückweisungsschranken des zweiseitigen Tests auf 10% und 90%, so ergibt sich, daß in 8 Fällen die Hypothese nicht zur Erklärung der Zielauswahl herangezogen werden kann. Es handelt sich dabei um VB, welche ausgesprochene Empfangsschwerpunkte als erste Versandziele wählen. Da dieser Zielauswahl entsprechende Wahrscheinlichkeiten sehr hoch sind, werden sie in weniger als 10 Fällen von den Wahrscheinlichkeiten der Zufallszielauswahl übertroffen.

Die Wahl von weniger gewichtigen Zielen als 1. Versandrelation (bspw. VB 5) und/oder das Auftreten von zwei oder drei weniger gewichtigen Zielen in Reihenfolge (bspw. VB 14) führt zu einer Abnahme der Wahrscheinlichkeit und einer Zunahme des Signifikanzniveaus.

Die Hypothese erklärt am besten jene Fälle, in denen sowohl "Haupt"-Ziele als auch weniger, z.T. unbedeutende Ziele angesteuert werden (Beispiel: VB 17).

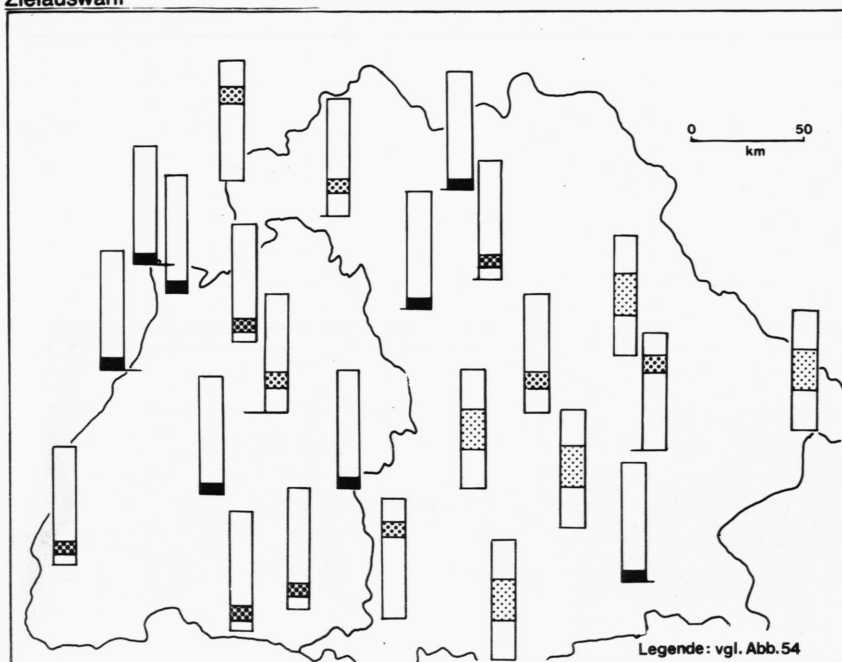
Überwiegen die unbedeutenden Ziele oder sind sie an vorderen Positionen, so wird die zu dieser Reihung gehörige Wahrscheinlichkeit so klein, daß das Signifikanzniveau sich dem Wert 90% nähert; überschritten wird dieser Wert jedoch nicht (Beispiel: VB 11, 21).

Die Asymmetrie der Verteilung der den einzelnen VB zugeordneten Signifikanzniveaus gibt einen Hinweis darauf, daß die Hypothese nicht alle die Zielauswahl beeinflussenden Variablen erfaßt. In welcher Hinsicht die Hypothese erweitert werden muß, zeigt eine Analyse der Verbreitung der VB, welchen ein Signifikanzniveau unter 20% zukommt (vgl. Abb. 53). Unter den 8 VB, für die die Hypothese auf dem 10%-Signifikanzniveau abgelehnt werden kann, befinden sich 5 VB aus Baden-Württemberg, bei 20% sind es 9 VB von Baden-Württemberg gegen 4 aus Bayern. Lediglich VB 7 besitzt mit 30% ein höheres Signifikanzniveau. Diese Ergebnisse lassen den Schluß zu, daß neben dem Merkmal "Empfangsaufkommen" auch räumliche Lageverhältnisse eine Rolle spielen.

So fallen von den 10 VB aus Baden-Württemberg (vgl. Tab. 21 des TA) 2 unter die 5 größten Empfänger innerhalb Süddeutschlands, 6 unter die 11 größten. Diese 6 VB liegen räumlich benachbart ebenso wie die empfangsschwachen VB, welche den Norden und Osten des Landes einnehmen, also die Grenze nach Bayern bilden.

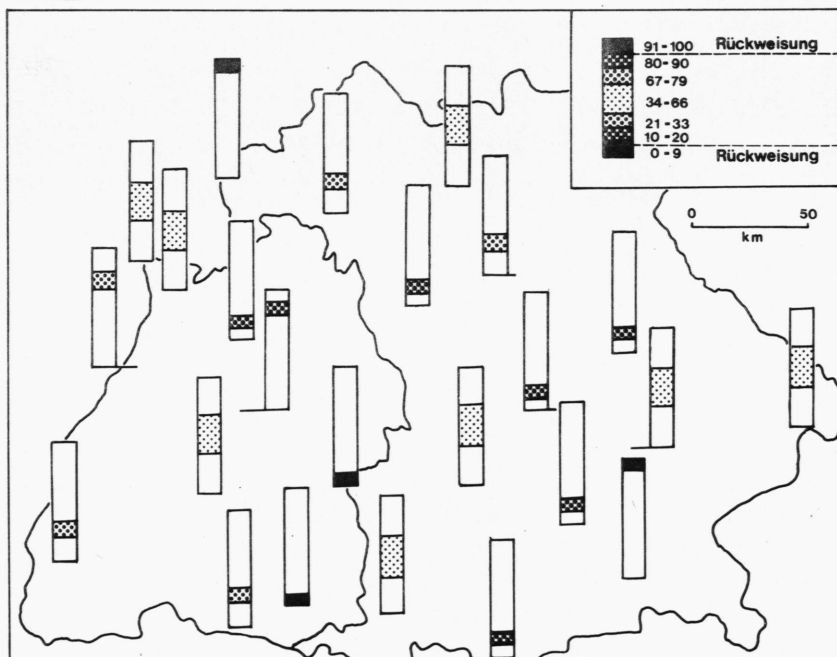
Die empfangsstarken VB bilden in Bayern zwei getrennte Klumpen, so daß nicht alle empfangsschwachen VB an empfangsstärke grenzen, auch nicht (s.o.), wenn Nachbarschaften mit VB aus Baden-Württemberg in Betracht gezogen werden. Sollten gemäß der in 3.3.2 gegebenen Interpretation Nachbarschaftsverhältnisse und Ländergrenzen in die Hypothese Eingang finden, so ist dabei zu beachten, daß diese neuen Variablen mit der Variable "Empfangsgröße" abgestimmt werden müssen.

Abb. 53 Verkehr mit elektrotechnischen Erzeugnissen innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Signifikanzniveaus beim Test der 1. Hypothese zur Erklärung der Zielauswahl



Kartographie E. Ardelean

Abb. 54 Verkehr mit elektrotechnischen Erzeugnissen innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Signifikanzniveaus beim Test der 4. Hypothese zur Erklärung der Zielauswahl



d) 2.Hypothese:

Es bestehen zwei große Interaktionsblöcke, falls die Wahl der ersten 5 Versandrelationen betrachtet wird, und zwar Baden-Württemberg und Bayern.

Interaktionen, die übergreifen, finden begünstigt nur im Verkehr mit den Zentren 7, 14 und 22 statt.

Die Interaktionswahl erfolgt mit Wahrscheinlichkeiten, die proportional zu den wie folgt gewichteten Empfangsmengen sind:

	Wichtung 1	, falls Ziel-VB im gleichen Land oder eines der Zentren 7,14,22
Wahl der Quelle i		

	Wichtung $\frac{1}{d_{ij}}$, falls Ziel-VB im Nachbarland
--	-----------------------------	--------------------------------

Hypothese 2 erklärt die Zielwahlen schlechter als die 1.Hypothese (vgl. Tab. 32 des TA). Zwar werden jetzt nur 2 Rückweisungen unterhalb des 10%-Signifikanz-Niveaus vorgenommen, dagegen 8 oberhalb des 90%-Signifikanz-Niveaus. Die Verteilung der den VB zugeordneten Signifikanzniveaus weist damit eine negative Schiefe auf. Auch werden die baden-württembergischen VB nach wie vor schlecht repräsentiert, allerdings aus anderen Gründen. Vor allem die zu niedrige Gewichtung der Ziele im benachbarten Land führt zu hohen Testgrößen. Andererseits - und dieser Effekt ist noch nicht angesprochen worden, obwohl für eine Prognose sehr wichtig - ist die Substitution von Zielen durch andere gleicher Wahrscheinlichkeit bei Ermittlung der Zufallsauswahlen erheblich eingeschränkt. Weiter hat sich die Anzahl der VB mit Signifikanzniveaus zwischen 33% und 66% von 5 auf 8 erhöht.

e) 3. Hypothese:

Es bestehen zwei große Interaktionsblöcke für die Wahl der ersten 5 Versandrelationen: Baden-Württemberg und Bayern.

Übergreifende Interaktionen finden begünstigt im Verkehr mit den Zentren 7, 14 und 22 statt, in Abschwächung mit weiteren Empfangsschwerpunkten des Nachbarlandes.

Die Gewichtung der Empfangsmengen der zur Auswahl stehenden Ziele wird wie folgt vorgenommen:

Wichtung 1 , falls Ziel-VB im gleichen Land oder eines der Zentren 7, 14, 22

Wichtung $\frac{1}{e^{\alpha k}}$, wobei k der Rang des Ziel-VB in einer absteigenden Ordnung der Ziele nach Empfangsmengen ist und die Zentren bei der Ordnung nicht berücksichtigt werden.

Es wurden Berechnungen für mehrere Werte von α durchgeführt, wobei das beste Ergebnis mit $\alpha = 0,7$ erzielt wurde und in Tab. 33 des TA dargestellt ist. Beispielsweise nimmt dann die neu eingeführte Gewichtungsfunktion folgende Werte an:

Rang	1	2	3	4	5	6	7
Wert	0,496	0,246	0,122	0,061	0,030	0,015	0,007

Bei der Zielauswahl von VB 17 wären dann die Kugeln in der Urne mit folgenden Wahrscheinlichkeiten der Ziehung versehen:

- alle Ziele innerhalb Bayerns einschließlich VB 7 (Stuttgart), ausschließlich VB 17 mit Gewichten proportional ihren Empfangsmengen
- von den Zielen in Baden-Württemberg (ausschließlich Stuttgart) weisen die Ränge auf (vgl. Tab. 22 des TA):

<u>VB</u>	<u>Rang</u>
4	2
1	4
2	6
5	7
9	8
⋮	⋮

Diese erhalten Wahrscheinlichkeiten der Ziehung, die proportional ihren mit dem Wert der Gewichtungsfunktion multiplizierten Empfangsmengen sind.

Als Ziele im anderen Land kommen also für das Beispiel neben Stuttgart praktisch nur noch VB 4, 1 und 2 in Betracht, wobei den letztgenannten schon sehr kleine Wahrscheinlichkeiten der Ziehung zukommen.

Das in Tab. 33 des TA festgehaltene Ergebnis zeigt eine nahezu Normalverteilung der den VB zugeordneten Signifikanzniveaus; lediglich 4 VB werden in ihrer Zielwahl nicht durch die Hypothese erklärt. Dennoch scheint eine weitere Differenzierung der Hypothese durch Berücksichtigung der Empfangsmengenverteilung im Gesamttraum erforderlich, denn

4 (0) der 10 (14) VB von Baden-Württemberg (Bayern) liegen unter einem Signifikanzniveau von 12 %, 6 (2) unter 32%, 8 (4) unter 42%, 9 (5) unter 52%.

Außerdem soll die Sonderrolle der Zentren abgebaut werden, zumal für 1972 VB 22, 7 und 14 in absteigender Reihung die VB mit dem größten Empfang darstellen und die anderen Empfangsschwerpunkte erheblich übertreffen.

f) 4. Hypothese:

Es bestehen die in Hypothese 3 definierten zwei Interaktionsblöcke.

Die Zielauswahl erfolgt gemäß Wahrscheinlichkeiten, welche proportional sind den wie folgt gewichteten Empfangsmengen der potentiellen Ziele:

	n: Nachbarschaftsordnung des potentiellen Zieles	
$\frac{1}{e_k(n-\text{mod}(k,2))}$	$\alpha_1 = 0,2$	potentielles Ziel im gleichen Interaktionsblock
	$\alpha_2 = 0,7$	potentielles Ziel nicht im gleichen Interaktionsblock
$k = 1, 2$		

Mit der Wahl dieser Gewichtsfunktion wurde versucht, dem Umstand Rechnung zu tragen, daß sich ein Großteil der Verkehre in der Nachbarschaft abspielt und die Interaktionen mit dem jeweils anderen Block erschwert sind.

Das in Tab. 34 des TA dargestellte Ergebnis weist aus, daß die Verteilung der Signifikanzniveaus wiederum eine leichte negative Schiefe besitzt; jedoch scheinen die beiden Untermengen Baden-Württemberg und Bayern gleich verteilt zu sein (vgl. Abb. 54). Damit ist es gelungen, der räumlichen Variablen stärker Geltung zu verschaffen. Bei vier Ablehnungen ist das bisher beste Ergebnis (3.Hypothese) erreicht.

Untersucht man die bei den jeweiligen Hypothesentests erhaltenen Signifikanzniveaus der VB auf räumliche Autokorrelation, so erhält man folgende Werte:

Hypothese	Testwert für räumliche Autokorrelation
1	1,745 (signifikant auf dem 10%-Niveau)
2	0,957
3	0,121
4	0,244

Dies zeigt, daß durch Verstärkung des Einflusses der räumlichen Variablen die Zielauswahl in der "richtigen Richtung" besser erklärt wird.

3.3.4 Untersuchung der durchschnittlichen Transportweite

Nach Darstellung der inneren Struktur der beobachteten VSM soll noch die regionale Verteilung des Verkehrs-Aufwands im Untersuchungsjahr behandelt werden. Hierzu kann entweder die durchschnittliche Transportweite (Abk.: TD) oder die tonnenkilometrische Leistung (Abk.: TKL) herangezogen werden. Der Zusammenhang, in dem beide Größen stehen, wird gegeben durch:

$$TKL_V(i) = TD_V(i) \cdot V_i$$

$TKL_V(i)$: tonnenkilometrische Versandleistung des VB i
 $TD_V(i)$: durchschnittliche Versand-Transportweite des VB i
 V_i : Versand des VB i

Bevor auf eine Diskussion der an der VSM beobachteten Werte der TD eingegangen werden soll, wird zu zeigen versucht, daß im Modell die TD_v und mit ihr die TKL_v sowohl von der relativen Lage der Quelle als auch von der räumlichen Verteilung der Empfangsmengen beeinflusst ist. Diese Beeinflussung überträgt sich bei Modellanwendung auch auf die Modellparameter.

Es wird sich zeigen, daß ein und dieselbe durchschnittliche Transportweite durchaus unterschiedlich zu interpretieren ist, daß also immer noch große Unsicherheit über die Verkehrsverteilung des jeweiligen Versenders besteht.

Angenommen, in einem System von n Versendern und Empfängern versenden alle gleich viel an die möglichen Ziele, so wird die durchschnittliche Transportweite eines Versenders völlig durch das arithmetische Mittel aller Zielentfernungen bestimmt:

$$TD_v(i) = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n T_{ij} d_{ij}}{\sum_{j=1, j \neq i}^n T_{ij}} = \frac{T \sum_{j=1, j \neq i}^n d_{ij}}{V} = \frac{V \sum_{j=1, j \neq i}^n d_{ij}}{(n-1)V} = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1, j \neq i}^n d_{ij}$$

Im nächsten Schritt wird angenommen, daß Versand- und Empfangsmengen im System der n Punkte variieren. Als Verkehrsverteilungshypothese wird angenommen, daß der Verkehr zwischen zwei Punkten proportional der Versandmenge des Versenders und der Empfangsmenge des Empfängers ist; also keine Abschwächung über die Entfernung, was Stufe 1 entspricht.

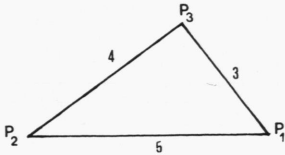
Nach Voraussetzung über die Verkehrsverteilung gilt:

$$T_{ij} = k V_i E_j \quad (+ \text{Korrektur für fehlenden Binnenverkehr})$$

Dann folgt:

$$TD_v(i) = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n \frac{V_i E_j}{1} d_{ij}}{\sum_{j=1, j \neq i}^n k \frac{V_i E_j}{1}} = k \sum_{j=1, j \neq i}^n E_j d_{ij} \quad .$$

Ersichtlich wird jetzt die durchschnittliche Transportweite von der Lage des Versenders i und der Empfangsmengenverteilung im System bis auf einen konstanten Faktor bestimmt. Wie diese Beeinflussung durch die Empfangsmengenverteilung geartet sein kann, soll am Beispiel eines Systems von 3 Punkten gezeigt werden.



Punkt	Zielentfernung	
	Durchschnitt	Spannweite
1	4,0	2
2	4,5	1
3	3,5	1

(i) Wählt man die Empfangsmengen E wie

$$E_1 = 8, E_2 = 9, E_3 = 5 \quad (\text{Summe: } 22),$$

so ergibt sich für jeden der drei Versender unter der Verkehrsverteilungshypothese der Stufe 1 die gleiche durchschnittliche Transportweite:

$$TD_V(i) = \frac{60}{22}, \quad i = 1, \dots, 3.$$

So gleichen in diesem Fall die Empfangsmengen die lagebedingten Schwankungen der Zielentfernungen aus. Hierbei kommt dem Versender mit der größten durchschnittlichen Zielentfernung (Punkt 2) der größte Empfang zu, was bewirkt, daß seine weiten Versandrelationen durchschnittlich niedriger gewichtet werden als für die anderen Punkte 1 und 3 die jeweils weitere Versandrelation mit Punkt 2 als Ziel. Man beachte, daß die Empfangsverteilung nicht so gleichmäßig ist wie die mittlere Zielweite, da bei letzterer auch die Spannweite zu berücksichtigen ist. Diese bewirkt bei Punkt 1 die relativ hohe Empfangsmenge 8 aus ähnlichen Gründen wie bei Punkt 2.

(ii) Mit einer Wahl von

$$E_1 = 5,5, E_2 = 2,75, E_3 = 13,75 \quad (\text{Summe: } 22)$$

erreicht man, daß die durchschnittlichen Transportweiten folgende Werte annehmen:

$$TD_V(1) = 2 \cdot K$$

$$TD_V(2) = 3 \cdot K$$

$$TD_V(3) = 1 \cdot K$$

$$K = \frac{27,5}{22}$$

Jetzt besteht zwischen durchschnittlicher Transportweite und durchschnittlicher Zielentfernung ein linearer Zusammenhang. Die Empfangsmengen sind - der relativen Größe nach - umgekehrt verteilt wie in (i). Und auch hier ist wieder zu beachten, daß die Werte E_1 und E_2 dicht beieinander liegen.

- (iii) Schließlich seien die Werte für den zu (ii) entgegengesetzten Zusammenhang zwischen durchschnittlicher Transportweite und durchschnittlicher Zielweite angegeben:

$$E_1 = \frac{C}{6}, \quad E_2 = \frac{13 \cdot C}{40}, \quad E_3 = \frac{C}{24}, \quad C = \frac{165}{4} \quad (\text{Summe: } 22).$$

Man erhält für die durchschnittlichen Transportweiten:

$$TD_V(1) = \frac{14}{8} C$$

$$TD_V(2) = C$$

$$TD_V(3) = \frac{9}{5} C.$$

Mit wachsender durchschnittlicher Zielentfernung ergeben sich jetzt abnehmende durchschnittliche Transportweiten, wobei jedoch kein linearer Zusammenhang erreicht werden konnte. Die Empfangsmengen sind diesmal gewichtsmäßig gleichabständig verteilt, der relativen Größe nach jedoch wie in (i).

Damit ist gezeigt, daß sowohl relative Lage des Versenders als auch die Empfangsverteilung im System für die Ausprägung des Wertes der durchschnittlichen Transportweite unter obiger Verkehrsverteilungshypothese ausschlaggebend sind. Bei der Untersuchung der realen Werte der TD kommen noch individuelle Ausprägungen hinzu, so z.B. die Bevorzugung des Nachbarschaftsverkehrs durch den Versender, die größeres Gewicht nur den Nachbarschaftszielen gibt, oder die allmähliche Abschwächung der Interaktion über die Entfernung, bei der generell noch keine Aussagen möglich sind.

Betrachtung der beobachteten durchschnittlichen Transportweite

Um die beobachteten durchschnittlichen Transportweiten der einzelnen VB vergleichen zu können, werden sie in Beziehung gesetzt zur durchschnittlichen Transportweite, die bei einer Verkehrsverteilung auf Stufe 1 auftreten würde. Für den Versandfall stellen sich die beiden Vergleichswerte wie folgt dar:

$$TD_V(i) = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n V_{ij} d_{ij}}{V_i}$$

beobachtete durchschnittliche Versandtransportweite des i-ten VB

$$TD1_V(i) = \frac{\sum_{j=1, j \neq i}^n \frac{V_i E_j}{T}}{V_i}$$

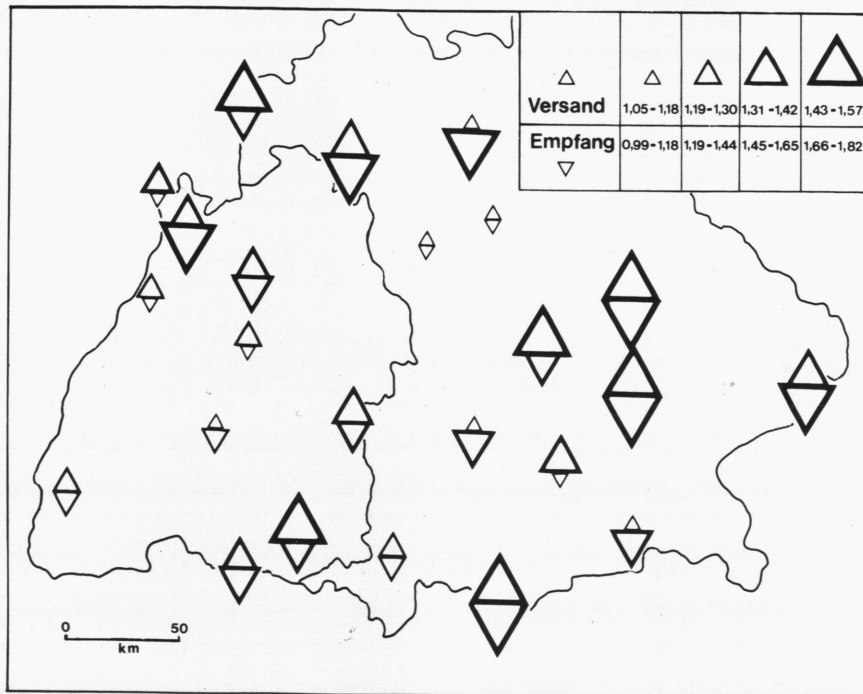
durchschnittliche Versand-Transportweite auf Stufe 1
(einzufügen ist ein Korrekturglied zum Ausgleich des fehlenden Binnenverkehrs)

Die Ergebnisse der Berechnungen sind aus Tab. 23 des TA und der Abb. 55 ersichtlich. Nahe an die Transportweite auf Stufe 1 kommen die Mitglieder der 1. Gruppe (vgl. Tab. 23). Bemerkenswert ist, daß hierunter nur das Zentrum 14 zu finden ist. Wenn auch in der überwiegenden Zahl von Fällen (VB 9, 13, 14, 20) für dieses Ergebnis die breite Produktionspalette dieser VB sowie das Auftreten von Mittelbetrieben verantwortlich gemacht werden kann, so ist doch der Schluß unzulässig, daß diese VB ihre Verkehrsverteilung ohne Beachtung des Raumes (bspw. Entfernungsabschwächung der Interaktion abwickelten).

In der 2. Gruppe (vgl. Tab. 23) befinden sich bis auf 3 alle baden-württembergischen VB sowie der VB 21. Man vergleiche hierzu noch einmal die Gruppen III und IV des Abschnitts 3.3.1, in denen ebenfalls die überwiegende Anzahl der baden-württembergischen VB zu finden sind. Wenn man annehmen darf, daß nicht nur für die Wahl der ersten fünf Empfangsziele die These von zwei Interaktionsblöcken Gültigkeit hat und sich erinnert, daß in Baden-Württemberg die Empfangsschwerpunkte recht gleichmäßig verteilt sind, so ergeben sich bei dem Vergleich der Einzel-Transportentfernungen größere Abweichungen in nahen und mittleren Distanzen für die VB von Baden-Württemberg, welche durch im Schnitt geringere Abweichungen in weiteren Distanzen (die bayerischen Ziele) ausgeglichen werden.

In den letzten zwei Gruppen finden sich in zunehmendem Maße VB, welche relativ starke Nachbarschaftsverkehre und/oder ungünstige Lagen zu den Empfangsschwerpunkten haben.

Abb. 55 Verkehr mit elektrotechnischen Erzeugnissen innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Durchschnittliche Versand-/Empfangs-Transportweite der Stufe 1 als Vielfaches der realen durchschnittlichen Versand-/Empfangs-Transportweite



Kartographie E. Ardelean

Bei Untersuchung der Verhältnisse für den Empfang kehren sich z.T. die Verhältnisse um, verwischen sich zudem die Unterschiede zwischen den baden-württembergischen und den bayerischen VB. Einen Quotienten nahe bei 1 weisen die VB des nord-baden-württembergischen Produktionsgebietes auf sowie Mittelfranken und VB 22 München. Damit haben alle Zentren durchschnittliche Empfangs-Transportweiten, die denjenigen auf Stufe 1 ähnlich sind. VB mit Werten über 1,5 befinden sich mit Ausnahme von VB 3 (Heidelberg) am Nord- und Ostrand Bayerns, also in peripherer Lage (vgl. Abb. 55).

3.4 ANWENDUNG DES RÄUMLICHEN KONKURRENZMODELLS

Nach Darstellung einiger Grundzüge der zu approximierenden Verkehrsstrommatrix soll das Konkurrenzmodell auf Stufe 2 zur Anwendung kommen. Dies bedingt eine Überführung der beobachteten Matrix auf die Rahmenbedingungen dieser Stufe. Da hierbei die innere Struktur der zu approximierenden VSM verändert wird, stehen im folgenden nicht so sehr Fragen der Güte der Approximation durch das Modell im Vordergrund. Vielmehr liegt der Schwerpunkt der Ausführungen auf der Klärung der Frage:

Welche Änderungen in der modellhaften Approximation vollziehen sich bei Übergang von 'Hexagonal' zu 'Süd-VB'?

Die dahinterstehende Frage, ob denn nun für den zu untersuchenden Teilverkehr die Abhängigkeit der Verkehrsverteilung von relativer Lage und Distanz unter der Entropie-Maximierungs-Hypothese zutreffend ist, wird im Rahmen erweiterter Fragestellungen in Kap. 5 zu klären versucht.

Beim zu beschreibenden Übergang von 'Hexagonal' zu 'Süd-VB' sollen die räumlichen Konkurrenzverhältnisse nicht außer acht gelassen werden. Um die vom Punktmuster abhängigen Werte der zugehörigen Ausgleichsfaktoren A, B jeweils vergleichen zu können, wird eine Bezugsbasis benötigt. Hierzu wird vorgeschlagen, für jedes Punktmuster die durchschnittliche Versand- bzw. Empfangskonkurrenz zu berechnen und die A bzw. B auf deren Reziprok zu beziehen:

$$(21) \quad A_i^r = \frac{1}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n E_k d_{ik}^{-\alpha}} \cdot \frac{\sum_{l=1}^n \left(\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq l}}^n E_k d_{lk}^{-\alpha} \right)}{n}$$

$$(22) \quad B_j^r = \frac{1}{\sum_{l=1}^n \frac{V_l d_{lj}^{-\alpha}}{\sum_{k=1, k \neq l}^n E_k d_{lk}^{-\alpha}}} \cdot \frac{\sum_{m=1}^n \left(\sum_{l=1}^n \frac{V_l d_{lm}^{-\alpha}}{\sum_{k=1, k \neq l}^n E_k d_{lk}^{-\alpha}} \right)}{n} \quad r \triangleq \text{relativ}$$

In den Abschnitten 3.2 und 3.3 wurde zur Auswahl und Darstellung des Teilverkehrs mehr Information herangezogen als für die Modell-anwendung benötigt wird. Allerdings handelte es sich entweder um globale Aussagen über die Absatzstruktur der Elektrotechnischen Industrie oder um regional unvollständige Information wie die lokale Produktionsstruktur. Abgesehen von dem wissenschafts-theoretisch begründeten Gebot der objektiven, unmanipulierten Modell-anwendung wird man sich aus den eben genannten Gründen keines Vorteils begeben, wenn nur die vom Modell benötigte In-formationenmenge zur Nachbildung des Verkehrs verwendet wird. Bei Vergleichen und Gegenüberstellungen wird auf die erwähnte Zusatz-information zurückgegriffen.

3.4.1 Nachprüfen der Modellvoraussetzungen auf Stufe 2

Das Modell soll auf Stufe 2 eingesetzt werden, was eine Reduktion aller in Tabelle 21 des TA angegebenen Aufkommensmengen auf je-weils 1000 und damit auch eine Veränderung der zu erklärenden Original-VSM notwendig macht. Die "Normierung" der VSM wird mit dem 'Furness-Iterations-Verfahren' durchgeführt, wobei Verschie-bungen in der gesamten Verkehrsstruktur es nicht sinnvoll erschei-nen lassen, auf dieser Stufe die Güte der Approximation durch das Modell zu diskutieren (vgl. Tab. 20 des TA).

Nach der Überführung der beobachteten Matrix auf die Rahmenbedin-gungen der Stufe 2 ist es möglich, den Gesamtaufwand im System zu berechnen, so daß auch diese Größe zur Verfügung steht.

Während bei der Berechnung mit 'Hexagonal' die bislang benutzten Luftlinien-Entfernungen weiter verwendet werden, entsprechen die für das Punktmuster 'Süd-VB' unterstellten Entfernungen den Tarifentfernungen beider Verkehrsträger, weichen also in Einzelfällen von den Luftlinienentfernungen ab (vgl. Tab. 4 des TA).

Es wird auf das Ergebnis der Aufkommensschätzung aus lokalen Produktionscharakteristika (3.2.4) hingewiesen, aus dem gefolgert werden kann, daß nicht, wie im Modell angenommen, eine Versandmenge - unabhängig von ihrem lokalen Auftreten - in Vielfache der Verkehrsmengeneinheit aufgeteilt werden kann. Dennoch wird für alle durchgeführten Anwendungen des Modells zur Erklärung des Elektroverkehrs in erster Näherung die diesbezügliche Modellannahme als erfüllt angesehen, also die regional differenzierte Struktur der Aufkommensmengen nicht beachtet.

3.4.2 Modellanwendung unter Benutzung von Punktmuster Hexagonal

Die in 3.1 vorgenommene Übertragung der süddeutschen VB-Schwerpunkte in das Punktmuster 'Hexagonal' wird herangezogen, wobei 'reale' Luftlinienentfernungen zwischen den einzelnen Punkten angenommen werden. Eine Übertragung der theoretischen Ergebnisse des Kap. 2 ist mit Hilfe der in 2.8 gemachten Feststellungen durchführbar.

Mit dem in [*, M 6.2] dargestellten Verfahren wurde die vorgegebene VSM bestmöglich zu reproduzieren versucht. Die dabei erhaltenen Ergebnisse sind in Tab. 35 des TA aufgeführt. Das globale Bestimmtheitsmaß ist mit 0,198 sehr niedrig, liegt aber über jenem der Stufe 1 (Best.Maß ist 0), so daß dem Einbezug des Raumes ein gewisser Erklärungswert nicht abgesprochen werden kann. Dieser Erklärungswert ist jedoch recht unterschiedlich, was die beträchtlichen Schwankungen der regionalen Bestimmtheitsmaße zeigen. Allerdings ist auch der Schwierigkeitsgrad der Schätzung der realen Verkehrsverteilung recht unterschiedlich, wie später noch gezeigt wird.

Eine Überprüfung der Einhaltung der Nebenbedingungen (1), (2) ergibt, daß sich die spezielle Form des Ausgleichsfaktors B der räumlichen Versandkonkurrenz an den Senken bewährt: die vorgegebenen Empfangsmengen werden reproduziert. Andererseits liegt der Fehler bei Reproduktion der vorgegebenen Versandmengen (nur) bei +4%, was der geringen Ausprägung der räumlichen Konkurrenz bei diesem speziellen Punktmuster und dem niedrigen Exponenten zuzuschreiben ist.

Die räumliche Verteilung der Ausgleichsfaktoren entspricht der in 2.8 angegebenen, wobei der im Vergleich zu den Modellrechnungen niedrige Exponent dafür sorgt, daß die Werte nur mäßig streuen. Einen Einblick in die Abhängigkeit der Werte der Ausgleichsfaktoren A, B von Kennzahlen der relativen Lage (arithmet. Mittel und Variationskoeffizient der Versand-Entfernungsverteilung) der Quelle gibt Abb. 56. Alle Punkte innerhalb der Geraden weisen Werte der A, B über 1 aus [*, M 3.1]. Es handelt sich dabei um solche Punkte, die gemäß der in Kap. 2 getroffenen Gruppierung zum Rand oder zur randnahen Zwischenlage gehören.

Auch die räumliche Verteilung der Versand-Entropie der modellhaft berechneten Verkehrsverteilung stimmt mit jener in Kap. 2 beschriebenen überein. Die auf dieser Stufe vorgegebenen Rahmenbedingungen reichen nicht aus, um eine weitergehende Individualisierung, d.h. Annäherung der Modellmatrix an Besonderheiten der realen VSM, zu erzwingen, wie dies auf höheren Stufen der Modellentwicklung durchaus möglich ist. Lediglich der mittels des Aufwands (hier: in Abhängigkeit vom Gesamt-Fehlerquadrat) und des vorgegebenen Punktmusters gesteuerte Exponent α der Entfernungsfunktion gestattet einen ersten Schritt in diese Richtung.

3.4.3 Übergang von Punktmuster Hexagonal zu Süd-VB

Bei gleichem zu approximierenden Verkehr, jedoch geänderter "absoluter" Lage der Aufkommensschwerpunkte wird die Modellanwendung vorgenommen und liefert die in Tab. 36 des TA aufgeführten

Approximation der Originalmatrix auf Stufe 2: Abhängigkeit der Ausgleichsfaktoren A, B von statistischen Parametern der Versandentfernungsverteilung

Abb. 56 'Hexagonal', auf 'Süd-VB' umgeordnet

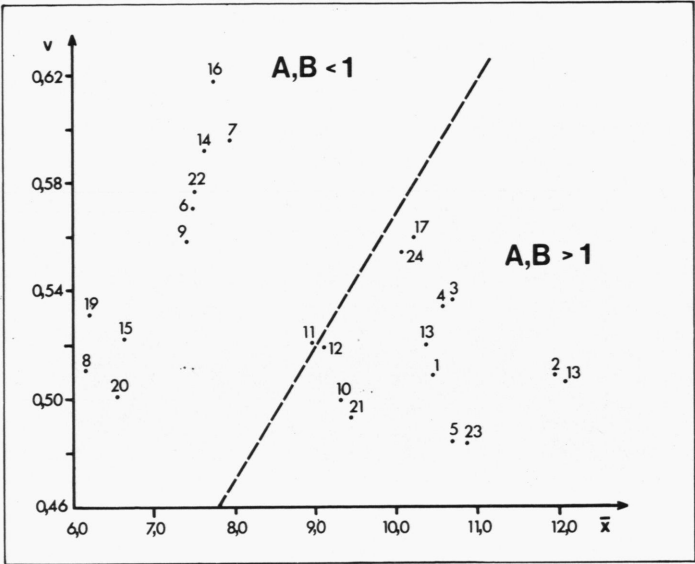
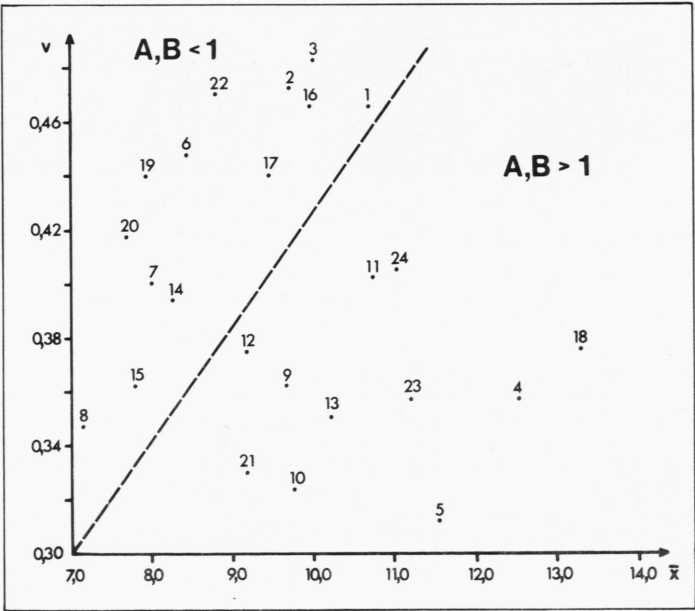


Abb. 57 'Süd-VB'



Kartographie E. Ardelean

Ergebnisse. Trotz höherem globalen Bestimmtheitsmaß, was diesem Punktmuster einen größeren Erklärungswert gegenüber 'Hexagonal' bestätigt, kann auch hier nicht von einer zufriedenstellenden Näherung gesprochen werden. Analog wie in 3.4.2 drückt sich die Annäherung der Modellmatrix an die vorgegebenen VSM nur in dem Wert des Exponenten aus, der gegenüber 'Hexagonal' etwa doppelt so hoch ist. Hierzu führt vor allem die gestiegene Punktdichte-Variation. Ansonsten stimmen die räumlichen Verteilungen der Werte für die Konkurrenz und Entropie bis auf lokale Eigenheiten, auf die noch einzugehen ist, in ihrer Tendenz mit den in Kap. 2 dargestellten Mustern überein. Die Abhängigkeit der Werte der Ausgleichsfaktoren A, B von Kennzahlen der relativen Lage kann aus Abb. 57 ersehen werden.

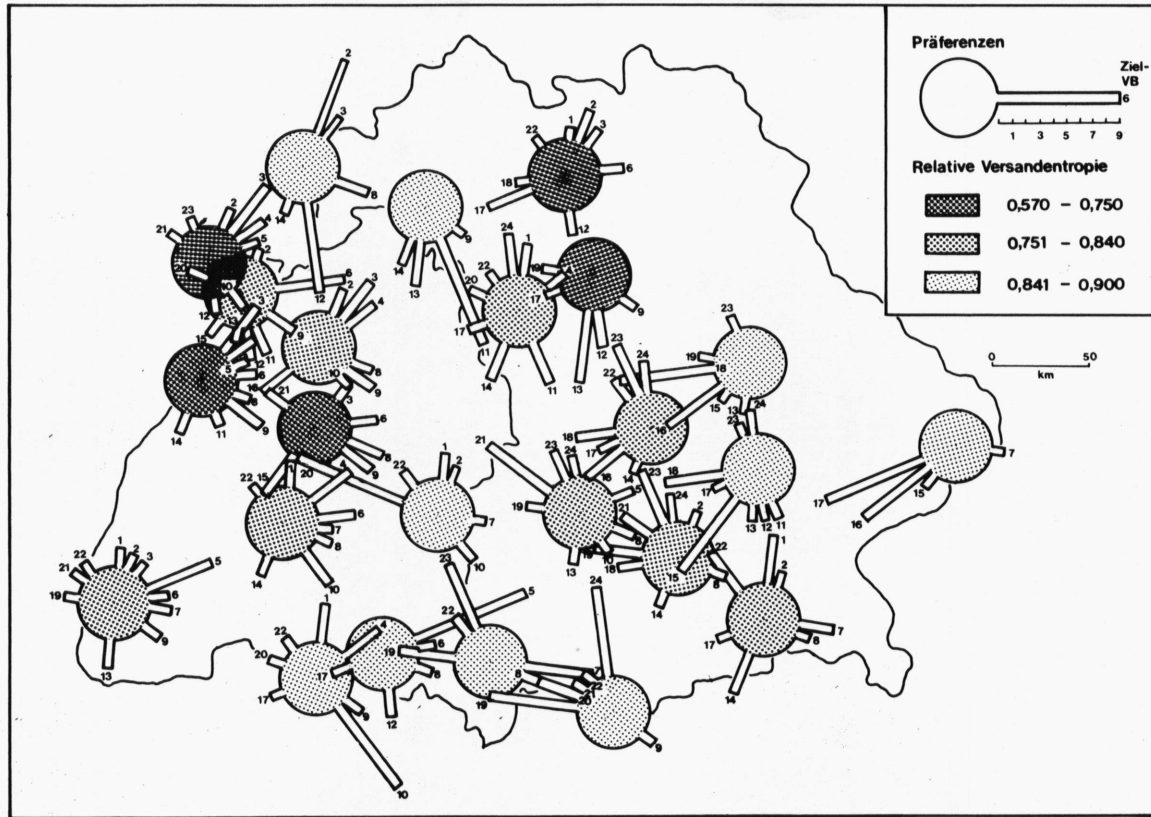
Gegenüber 'Hexagonal' tritt die räumliche Konkurrenz ausgeprägter auf, was bei wiederum guter Einhaltung der Nebenbedingung (2) die Reproduktion der Versandmengen nur mit einem (maximalen) Fehler von $\pm 7\%$ gestattet.

Um die Bearbeitung der eingangs gestellten Frage in Angriff nehmen zu können, sollen zwei Betrachtungen angestellt werden, die wie folgt zu umreißen sind:

- (i) Welche Schwierigkeiten bestehen in der Schätzung der Verkehrsverteilung der vorgegebenen VSM?
- (ii) Wie verändern sich bei Übergang von Punktmuster 'Hexagonal' zu 'Süd-VB' die regionalen Bestimmtheitsmaße unter Beachtung der in (i) festgestellten Schwierigkeiten?

ad (i). Als Maß für die Schwierigkeit der Schätzung der Verkehrsverteilung einer Quelle kann die Streuung der Einzelwerte angesehen werden. Diese läßt sich bspw. in Standardabweichungen (vgl. Kap. 5) oder Entropiewerten ausdrücken. Betrachtet man Abb. 58, die die relativen Versandentropien der Quellen der normierten Originalmatrix in Verbindung mit überdurchschnittlich hohen Verkehrsbeziehungen wiedergibt, dann erkennt man Übereinstimmungen und Abweichungen von der gemäß Modellhypothese zu erwartenden Verteilung. Abweichungen treten dann auf, wenn Randquellen - vor allem in

Abb. 58 Auf Stufe 2 überführte Verkehrstrommatrix: Versandpräferenzen über 1,0 und Entropie der Versandpräferenzverteilung



Kartographie E. Ardelean

Baden-Württemberg - hohe Entropien aufweisen, zentrale Quellen niedrige (bspw. VB 8). Übereinstimmungen sind in den niedrigen Entropiewerten von Randquellen und Quellen der randnahen Zwischenlage zu finden. Es ist darauf hinzuweisen, daß bei der vorgenommenen Gruppierung der Entropiewerte insofern Unterschiede zwischen den beiden Ländern bestehen, als Baden-Württembergs Quellen mehr zu höheren, diejenigen von Bayern mehr zu niedrigen Werten neigen. Dies ist auch daran zu erkennen, daß innerhalb Baden-Württemberg Verknüpfungen hoher Intensität zwischen fast allen Punkten bestehen, hingegen in Bayern vielfach der Norden, Osten und Süden unter sich bleiben.

Bei den Modellanwendungen treten höhere Entropiewerte auf, sowohl bei 'Hexagonal' als auch bei 'Süd-VB'. Was in Kap. 5 ausführlich behandelt wird, kündigt sich hier schon an: das räumliche Konkurrenzmodell liefert eine Approximation im Mittel mit zu hoch angesetzten Entropien für die einzelnen Verkehrsverteilungen der Quellen. Während die Abweichungen der realen Werte von jenen unter 'Hexagonal' eben schon geschildert wurden, ist in Abb. 59 mit Hilfe von zwei hintereinandergeschalteten mathematischen Abbildungen [*, M 7.4] ein Vergleich der räumlichen Verteilung mit jener unter Süd-VB ermöglicht, wobei von den unterschiedlich hohen Wertebereichen abgesehen wird.

Die aufgrund der lokalen Punktkonzentration im NW Baden-Württembergs vom Konkurrenzmodell angenommene hohe Versandkonkurrenz an diesen Senken in Verbindung mit niedrigen Entropiewerten wird nicht durch die realen Werte bestätigt, die relativ höher liegen (vgl. Abb. 59). Andererseits sind Quellen des Südens, der Mitte und des Nordens des Untersuchungsgebietes vom Konkurrenzmodell mit relativ höheren Entropien bedacht worden, die real niedrigere Werte aufweisen. Die dazwischenliegenden Quellen mit etwa übereinstimmenden Werten deuten an, daß die einbezogenen Raumvariablen für die Erklärung durchaus dienlich sind, wenn auch lokale Fehleinschätzungen vorkommen.

Was geschieht nun beim Übergang von 'Hexagonal' zu 'Süd-VB' hinsichtlich der räumlichen Verteilung der Versandentropie? In Abb. 60 zeigt sich die Wirkung der Punkttransformation und der

Abb. 59 Approximation der vorgegebenen VSM auf Stufe 2; Punktmuster 'Süd-VB': Vergleich der räumlichen Verteilungen von realer und modellhaft berechneter relativer Versandentropie

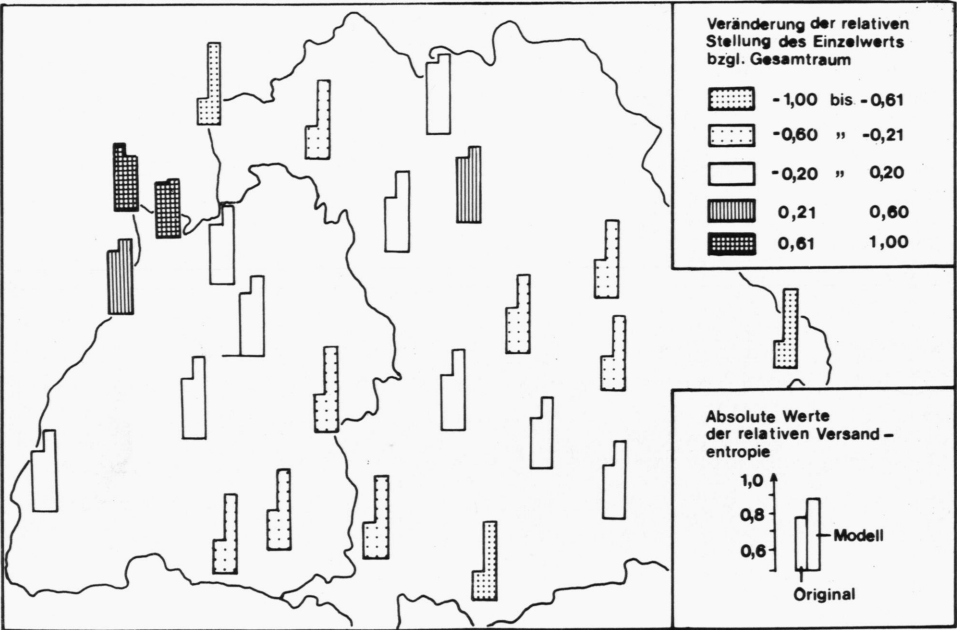
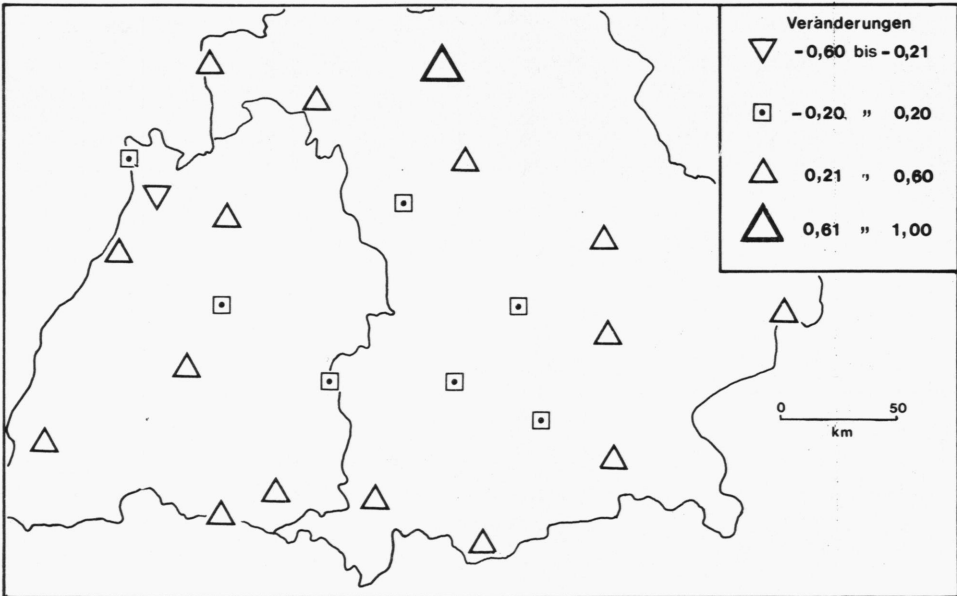


Abb. 60 Approximation der vorgegebenen VSM auf Stufe 2: (Vergleichbare) Veränderung der relativen Versandentropie bei Übergang von 'Hexagonal' zu 'Süd-VB'



Kartographie E. Ardelean

verstärkten räumlichen Konkurrenz. Allgemein nimmt die Entropie randlich zu, was durch das Näherrücken der zentralen Punkte zum Rand und dem Punktvakuum im Inneren des Musters 'Süd-VB' erklärbar ist. Auch hier schlägt wieder die randliche Punktverdichtung in Teilen Baden-Württembergs durch. Quellen der zentralen und Zwischenlage haben gegenüber dem Rand nur geringfügige Veränderungen in ihren Entropiewerten zu verzeichnen.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Schwierigkeiten der Schätzung der Verkehrsverteilung regional differenziert sind, wobei das Modell unter beiden Punktmustern eine Beurteilung der Schwierigkeiten gemäß der Ergebnisse des Kap. 2 vornimmt. Die erhaltenen Entropiewerte stimmen in ihrer räumlichen Verteilung nicht immer mit den realen Werten überein, ohne jedoch eine räumliche Autokorrelation der Abweichungen erkennen zu lassen, was darauf hindeuten würde, daß weitere vom Raum abhängige Erklärungsgrößen berücksichtigt werden müßten.

ad (ii). Wendet man sich den Bestimmtheitsmaßen zu, dann kann sowohl bei Hexagonal (vgl. Tab. 37 des TA) als auch bei Süd-VB die Verwendung der berechneten VSM als Norm für die beobachtete Verkehrsverteilung abgelehnt werden; jedoch unterschreitet das lokale Bestimmtheitsmaß jeweils nur in 3 Fällen jenes bei Stufe 1 (vgl. 2.1). Da die Verkehrsverteilung unterschiedlich schwer zu schätzen ist, wie in (i) gezeigt, variieren auch die lokalen Bestimmtheitsmaße beträchtlich, ohne daß in beiden Anwendungsfällen eine räumliche Gruppierung zu erkennen wäre. Stellen sich bei Übergang von 'Hexagonal' zu 'Süd-VB' regional Verschlechterungen oder Verbesserungen ein?

Um diese Frage für den Versand zu beantworten, wird folgender Weg beschritten (Tab. 37 des TA):

- 1 Für jede Quelle Bilden der Differenz zwischen dem Bestimmtheitsmaß unter 'Hex.' und 'Süd-VB'.
- 2 Da jedoch Verbesserungen bzw. Verschlechterungen auch vom Schwierigkeitsgrad der Aufkommensschätzung

der betreffenden Verkehrsverteilung abhängig sind, werden die Quellen nach der Versandentropie ihrer realen Verkehrsverteilung in 3 Gruppen zusammengefaßt (vgl. Tab. 37 des TA).

- 3 Nach der Methode der z-scores werden die in 1 gewonnenen Differenzen innerhalb der so gebildeten Gruppen standardisiert und sind damit vergleichbar.
- 4 Analog wird mit den Bestimmtheitsmaßen für den Empfang verfahren.

Die Abb. 61 zeigt, daß mit Auswechseln des Punktmusters uneinheitliche Veränderungen der regionalen Approximationsgüte erzielt werden. Während in Baden-Württemberg 5 relativen Verbesserungen 4 relative Verschlechterungen gegenüberstehen, verbessert sich die Schätzung bei 5 bayerischen Quellen, die im grenznahen Bereich zu finden sind, bleibt sie für 6 Quellen, zumeist in zentraler Lage hinsichtlich des Gesamtuntersuchungsgebietes, relativ gleich, verschlechtert sich relativ für 3 Quellen.

Damit scheint die Punktauflockerung in Bayern durchaus für die Mehrzahl der Quellen einen Gewinn zu bringen, werden doch im Vergleich zu Hexagonal die randlichen Ausgleichsfaktoren höher, demnach die randlichen Nachbarschaftsbeziehungen vom Modell intensiviert, was für viele Rand-VB nachgewiesen werden konnte (vgl. Abb. 58). In Baden-Württemberg sieht die Verkehrsstruktur insofern anders aus, als Verkehrsbeziehungen in hoher Intensität das ganze Land überziehen, so daß lokale Punktkonzentrationen in Begleitung mit gesteigerter Versandkonkurrenz an den Senken sowohl positiv als auch negativ mit den realen Verhältnissen korrespondieren.

In Abb. 62 sind die Verhältnisse für den Empfang dargestellt. Insgesamt erweisen sich die Veränderungen als gravierender. Für alle zentralen Senken verschlechtert sich relativ die Approximation, für den Norden und Osten Bayerns verbessert sie sich.

In beiden Fällen kann jedoch nicht von räumlicher Autokorrelation gesprochen werden.

Approximation der vorgegebenen VSM auf Stufe 2: Lokale Bestimmtheitsmaße der Modellapproximation bei Übergang von 'Hex.' zu 'Süd-VB'

Abb. 61 Versand

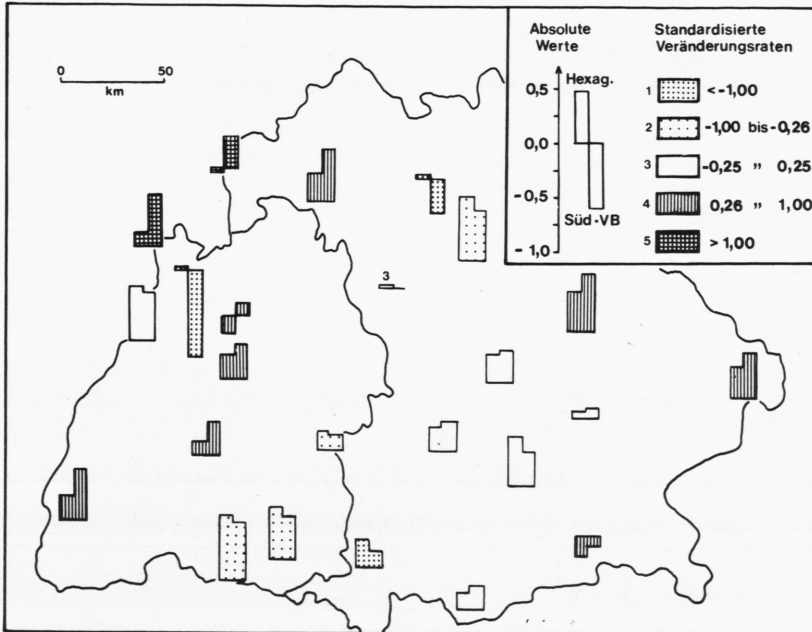
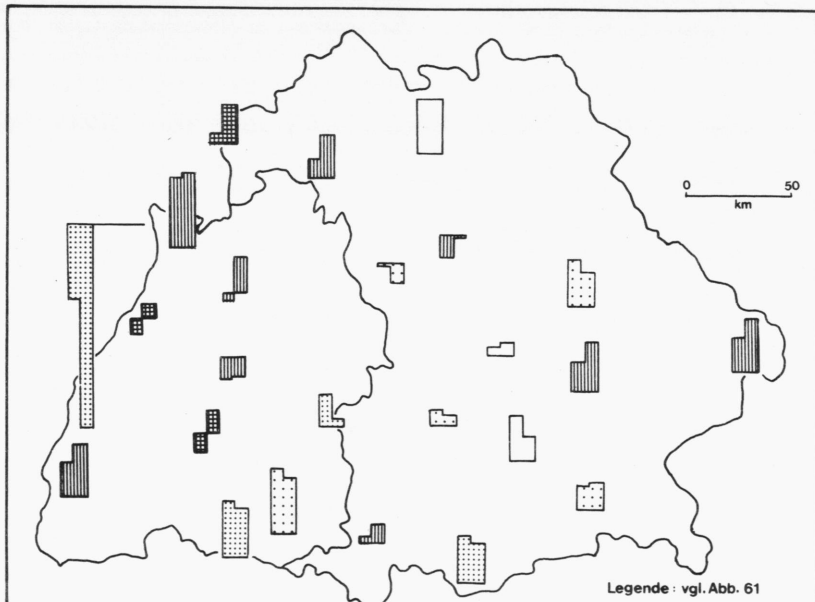


Abb. 62 Empfang



Legende: vgl. Abb. 61

Kartographie E. Ardelean

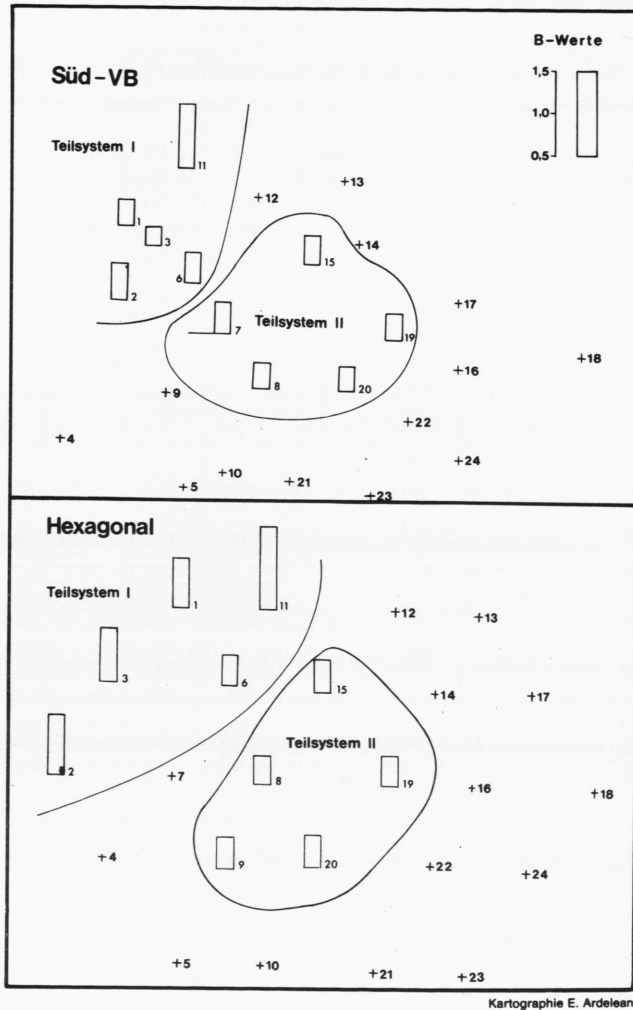
Damit kann eine erste Beantwortung der zu Beginn dieses Abschnitts gestellten Frage gegeben werden:

Auf VB-Ebene ergeben sich dank unterschiedlichen Schwierigkeitsgrades der Schätzung der Verkehrsverteilung keine räumlich abgrenzbaren Verbesserungen oder Verschlechterungen der Approximation durch das Modell bei Übergang von 'Hexagonal' zu 'Süd-VB'. In beiden Fällen sind die Rahmenbedingungen der Stufe 2 noch zu regional undifferenziert, so daß eine Approximation im Mittel in Anlehnung an die in Kap. 2 gewonnenen theoretischen Ergebnisse überwiegt, ohne daß spezifische Eigenschaften der Punktmuster stärker ausgenützt würden. Diese nehmen lediglich auf die räumliche Konkurrenz und den Exponenten Einfluß.

Es ist denkbar, daß die lokalen Punktdichtevariationen im Muster 'Süd-VB' auf VB-Ebene angesichts der Ähnlichkeit des Punktmusters mit 'Hexagonal' kaum auf die Bestimmtheitsmaße und Entropiewerte durchschlagen, jedoch in der lokalen Verkehrsverteilung des Modell größere Veränderungen hervorrufen. Hierzu werden im folgenden zwei Teilgebiete aus dem Untersuchungsraum herausgegriffen und hinsichtlich der in ihnen abgewickelten Modellverkehre untersucht.

Betrachtet man den durch die Punkte 1,3 gebildeten Verdichtungsraum mit seinem Rand 2,6,11 (vgl. Abb. 63), so fragt sich, wie dieses randlich gelegene Teilsystem seinen Verkehr abwickelt, so es doch als Teil des übergeordneten Systems diesem ähnlich aufgebaut zu sein scheint. Die Ähnlichkeit wird durch die Verteilung der Ausgleichsfaktoren bestätigt: der zentrale Punkt 3 erhält den relativ (bzgl. des Teilsystems) und absolut (bzgl. des Gesamtsystems) niedrigsten Wert, danach folgt Punkt 1 und mit z.T. beträchtlichem Abstand der Rand des Teilsystems. Insofern deckt sich die räumliche Verteilung mit den in Kap. 2 gewonnenen Ergebnissen: auch kleinräumig erweist sich der Aufbau des räumlichen Konkurrenzmodells als logisch konsistent. Die Einbettung dieses Teil- in das Gesamt-System läßt die B-Werte der Randpunkte 2,6,11 je nach relativer Lage im Gesamtsystem unterschiedlich ausfallen. So ist 11 gleichzeitig Randpunkt des übergeordneten Systems (des Gesamtraums) und erhält einen Wert über 1, hingegen erweist sich 6 als Punkt der zentrumsnahen Zwischenlage, so daß sein Wert nur geringfügig den von Punkt 1 übertrifft.

Abb. 63 Teilsysteme I, II; 'Hexagonal'; 'Süd-VB': Verteilung der B-Werte bei Approximation der vorgegebenen VSM auf Stufe 2



Es mag naheliegen, die hier betrachteten Punkte mit dem realen Raum, dem Nordwesten des Untersuchungsgebietes, voll zu identifizieren. Aber dies wird bewußt vermieden, da dann mehr Information verwandt und benötigt würde, wie sie weder vom Modell benutzt und gefordert noch regional aufgeschlüsselt greifbar erscheint. Vielmehr darf noch einmal an die Abstraktionsebene erinnert werden, auf der diese Untersuchung geführt wird: gleiche Gewichtung aller Punkte durch gleiche Verkehrsaufkommen im Raum. Dadurch verschiebt sich erst der Schwerpunkt dieses Teilsystems bzgl. der Elektroindustrie von Mannheim/Karlsruhe nach Punkt 3 (Heidelberg). Außer der Gleichgewichtung durch

die Aufkommen sollte auch noch die Wirkung des für das Gesamtsystem festgestellten Exponenten der Entfernungsfunktion beachtet werden, welcher durch seine Höhe wesentlichen Anteil an der scharfen Heraushebung des Teilsystems hinsichtlich der räumlichen Konkurrenz hat. Auch in dieser Hinsicht vermag ein allgemeiner Exponent regional zu differenzieren.

Stellt man den Anteil des modellhaft berechneten Verkehrs zusammen, welcher im Teilsystem verbleibt, so erhält man auch hier stark differenzierte Werte für 'Süd-VB', ganz im Gegensatz zu dem entsprechenden Teilsystem in Hexagonal (vgl. Tab. 13):

Tabelle 13

Anteil des Versands der ausgewählten Quellen, der im Teilsystem I verbleibt (in %) - beide Punktmuster -

Quelle	Hexagonal	Süd-VB	Real
1	36,4	57,4	35,0
2	25,0	38,6	46,4
3	35,6	58,5	41,4
6	33,8	31,8	30,5
11	35,1	29,2	36,7
\bar{x}	33,2	43,1	38,0
s	4,7	14,0	6,1
v	0,14	0,32	0,16

Im Gegensatz zu Hexagonal sind bei Süd-VB im Teilsystem stark schwankende Entfernungen, ein doppelt so hoher Exponent und entsprechend niedrige Ausgleichsfaktoren im Zentrum zu verzeichnen, welche die stark schwankenden Anteile bewirken. Lokal erweist sich die Approximation im Mittel durchaus differenziert, ohne allerdings die realen Verhältnisse genau nachbilden zu können.

Während im ersten Beispiel eine lokale randlich gelegene Störung der gleichmäßigen Punktdichte von 'Hexagonal' behandelt wurde, ist mit dem durch die Punkte 7,8,15,19,20 beschriebenen Teilsystem II (vgl. Abb. 63) eine lokale Störung im Zentrum des Untersuchungsgebietes abgegrenzt, welches vergleichend mit dem aus Hexagonal entnommenen (Punkte 8,9,15,19,20) betrachtet werden soll. Alle ausgewählten Punkte bilden - jeweils im entsprechenden Punktmuster - das Zentrum (8,15,19,20) bzw. sind aus der zentrumsnahen Zwischenlage (7 bzw. 9) ausgewählt. Dennoch unterscheiden sich die ordinalen

Entfernungsmatrizen (als Teil der ordinalen EM des Gesamtsystems) erheblich voneinander (vgl. Tab. 14).

Tabelle 14

Dem Teilsystem entsprechender Ausschnitt aus der ordinalen Entfernungsmatrix des Gesamtsystems

S ü d - V B							H e x a g o n a l						
	7	8	15	19	20	\bar{x}		8	9	15	19	20	\bar{x}
7	-	4	7	14	11	9,00	8	-	2	5	6	3	4,00
8	4	-	10	5	2	5,25	9	2	-	11	9	1	5,75
15	8	9	-	3	5	6,25	15	4	12	-	6	10	8,00
19	14	5	6	-	1	6,50	19	6	10	4	-	5	5,25
20	12	3	13	2	-	7,50	20	2	1	9	3	-	3,75

Die allgemein höhere durchschnittliche (ordinale) Entfernung innerhalb des Zentrums von 'Süd-VB' zeigt deutlich, daß die ausgewählten Punkte zwar zentral gelegen, jedoch im Gegensatz zu den Verhältnissen in 'Hexagonal' näher an Punkte der Zwischenlage herangerückt sind. Nun weiß man aus den Ergebnissen des Kap. 2, daß unter den gegebenen Voraussetzungen zentrale Quellen zur Gleichverteilung neigen, wobei sie - durch die räumliche Verteilung der Ausgleichsfaktoren bedingt - den Rand mit unterstützen. Bei Übergang von 'Hexagonal' zu 'Süd-VB' steht aber zu erwarten, daß sich infolge der Nähe des Zentrums zum Rand zusätzlich gewisse Richtungsorientierungen in der Verkehrsverteilung der Zentren zum benachbarten Rand stärker durchsetzen, wobei die Gesamttendenz zur Gleichverteilung abgeschwächt werden könnte.

Eine Betrachtung der Ausgleichsfaktoren zeigt, daß sie für die ausgewählten Punkte in 'Süd-VB' zwar niedrig sind, jedoch - im Gegensatz zu 'Hexagonal' - z.T. von solchen in Zwischenlage unterboten werden (vgl. Abb. 63 und Tab. 36 des TA). Und zwar geschieht dies immer dann, wenn Punkte in Zwischenlage lokal als zentral angesehen werden können - bspw. Punkt 3 in Teilsystem I oder die Quellen 14, 22. Damit werden durch das 'Punktvakuum' in der Mitte des Untersuchungsgebietes die Verhältnisse des Zentrums in die Zwischenlage verschoben. Betrachtet man auch für Teilsystem II die Anteile des im Teilsystem verbleibenden und an den

Rand¹ des Gesamtsystems abgegebenen Verkehrs, erhält man gravierende Unterschiede im Vergleich beider Punktmuster (Tab. 15):

Tabelle 15

Ausgliederung der Anteile räumlicher Zielgruppen aus dem modellhaft berechneten Verkehr der Quellen des Teilsystems II - beide Punktmuster -

Quelle	Hexagonal		Süd-VB		Real (bei Süd-VB)	
	TS II	Rand	TS II	Rand	TS II	Rand
7 (9)	24,2	39,9	15,7	41,3	31,9	40,0
8	27,4	33,9	22,6	49,5	44,9	26,0
15	19,0	34,4	17,1	36,3	13,3	47,5
19	20,0	34,0	23,0	37,3	4,9	55,2
20	27,8	34,3	22,5	44,2	18,5	67,5
\bar{x}	23,7	35,3	20,2	41,7	22,7	47,2
s	4,1	2,6	3,5	5,4	15,8	15,6
v	0,17	0,07	0,17	0,13	0,70	0,33

Auch hier muß an die höheren Entfernungen, die etwas niedrigeren Ausgleichsfaktoren, den höheren Exponenten bei 'Süd-VB' erinnert werden, allesamt Gründe, die den Anteil des Verkehrs, der im Teilsystem verbleibt, gegenüber Hexagonal vermindern, was nicht unbedingt der Realität entspricht. Trotz des hohen Exponenten steigt der Randanteil wegen der lokalen Nähe zum benachbarten Rand und dessen höheren Ausgleichsfaktoren beträchtlich an, so daß von einer gewissen Richtungsorientierung der Zentren in Süd-VB gesprochen werden kann. Dies übrigens in Übereinstimmung mit der Realität.

Faßt man die Ergebnisse der Betrachtung der Teilsysteme I, II zusammen, dann ändert sich bei Übergang von 'Hexagonal' zu 'Süd-VB' lokal die Verkehrsverteilung entsprechend der Punktdichtevariationen. Diese Änderungen sind jedoch auf Stufe 2 der Modellapproximation nicht so stark, um den Mittelwert-Charakter der Approximation entscheidend zu verändern. Hierzu wird auf die entsprechenden Ausführungen in Kapitel 5 verwiesen.

1 Rand: bei Hexagonal wie definiert: 1,2,3,4,5,13,17,18,23,24
bei Süd-VB höchste B-Werte : 4,5,9, 10,11,13,18,21,23,24

KERNLITERATUR KAPITEL 3

- Alcaly, R.: Aggregation and gravity models: some empirical evidence. In: Journal of Regional Science 7 (1967), pp. 61 - 73.
- Becker, J.: Probleme regionaler Güterfernverkehrsprognosen. (Beiträge aus dem Institut für Verkehrswissenschaft, Heft 67). Göttingen 1972.
- Black, W.: Interregional commodity flows: some experiments with the gravity model. In: Journal of Regional Science 12 (1972), pp. 107 - 118.
- Chisholm, M.; O'Sullivan, P.: Freight flows and spatial aspects of the British economy. (Cambridge Geographical Studies 4). Cambridge 1973.
- Fügel-Waverijn, I.: Struktur und Entwicklung der Elektrotechnischen Industrie in Baden-Württemberg. In: Jahrbücher für Statistik und Landeskunde von Baden-Württemberg 1970. Stuttgart 1971, pp. 5 - 71.
- Pauli, R.: Zur Einführung einer neuen Regionalgliederung in der Verkehrsstatistik. In: Wirtschaft und Statistik 6 (1969), pp. 305 - 309.
- Welzel, F.: Die Elektroindustrie in der Bundesrepublik Deutschland. Eine industriegeographische Monographie. Diss. Köln 1975.

4. FORTFÜHRUNG DER THEORETISCHEN UNTERSUCHUNG DES RÄUMLICHEN KONKURRENZMODELLS SOWIE ANSATZE ZU SEINER ERWEITERUNG

4.1 EINFÜHRENDE ÜBERLEGUNGEN ZU DEN STUFEN 3 UND 4

In Kapitel 2 wurde gezeigt, daß der Effekt der in 2.3 definierten räumlichen Konkurrenz global von der Variation der Punktdichte, regional von der relativen Lage der Verkehrsschwerpunkte abhängig ist. Die auf Stufe 2 vorausgesetzte Konstanz der Versand-/Empfangsmengen im Raum soll nun fallengelassen werden, so daß auch die Abhängigkeit der räumlichen Konkurrenz von der räumlichen Variation der Aufkommensmengen untersucht werden kann. Aus dieser Abhängigkeit läßt sich ein weiterer indirekter Einfluß der Aufkommensmengen auf die modellhaft berechnete Verkehrsverteilung ableiten, der über die Ausgleichsfaktoren auf die Präferenzen und damit auf die Modell-VSM zum Ausdruck kommt.

Daß nicht nur ein Zusammenhang zwischen Kontaktintensität und Verkehrsaufkommen besteht, sondern hierbei auch mitentscheidend ist, welche räumliche Verteilung die Aufkommen haben, ist schon in Kapitel 3 deutlich geworden. So konnte in der 4. Hypothese des einfachen Urnenmodells über eine regional differenzierte Gewichtsfunktion der Empfangsmengen eine verbesserte Erklärung der Zielauswahl erreicht werden. Hieran anschließend ist zu fragen, ob auch die Aufkommensmengen in der Lage sind, relative Lageverhältnisse zu modifizieren.

So zitiert Haggett [101, p.330] ein Beispiel, wie unterschiedliche Aufkommensgrößen zu einer Auflösung von räumlichen Lageverhältnissen führen, wenn diese unter dem Aspekt der Erreichbarkeit, aber auch der Kontaktintensität betrachtet werden. In diesem Zusammenhang sei auf Abschnitt 3.3.4 verwiesen, in dem eine Dualität von relativer Lage einerseits und räumlicher Verteilung der Aufkommensmengen andererseits angedeutet werden konnte. Dieser Gesichtspunkt spielt gerade im betrachteten Konkurrenzmodell eine entscheidende Rolle, da beim Anwendungsfall "Schätzung einer unbekannten Verkehrsverteilung" (vgl. Abb. 4) eine vorgegebene Aufwandsgröße wie

z.B. die im System geleistete TKL zur Bestimmung des Exponenten der Entfernungsfunktion herangezogen wird.

Können also durch geeignete Wahl der Aufkommensmengen die für zentrale Quellen charakteristischen Verteilungsmuster auch für Randquellen erzielt werden? Betrachtet man hierzu die vom Konkurrenzmodell erzeugte Verkehrsverteilung, lassen sich folgende noch zu belegende Aussagen machen:

1. Mit wachsendem Aufkommen des Punktes i wächst die Entropie der Verteilung des entsprechenden Aufkommens.
2. Die Änderung der Entropie kann jedoch nicht von der relativen Lage des Punktes i im Untersuchungsraum unabhängig sein. Vielmehr wird sie infolge der raumbezogenen Widerstandsfunktion, die sowohl von der räumlichen Aufkommensverteilung des Versands als auch des Empfangs beeinflusst ist, bei gleicher Veränderungsrate des Aufkommens regional unterschiedlich ausfallen.
3. Aus 2. folgt weiter, daß bei gleichen Veränderungen der Aufkommensverteilungen unterschiedliche Ergebnisse der regionalen Entropieveränderungen für die beiden Idealfälle 'Hexagonal' und 'Verzerrung' zu erwarten sind.

Ergänzend ist zu bemerken, daß diese Aussagen nicht für das einfache Gravitationsmodell gültig sind, da dieses keine raumbezogene Widerstandsfunktion kennt.

In Abschnitt 4.2 wird versucht werden, den Nachweis für die Aussagen 1. bis 3. zu erbringen und - soweit möglich - eine regional stärker differenzierende Umformulierung anzugeben. Wie in Kapitel 2 stehen auch hier die Untersuchungen anhand der beiden idealen Punktmuster im Vordergrund, zum einen, um die schon bereitgestellten theoretischen Ansätze zu ergänzen, zum anderen, um eine Vergleichsbasis für die in Kapitel 5 angestrebte Anwendung des Konkurrenzmodells auf den Stufen 3 und 5 zu schaffen.

Auch bei der Auswahl der Veränderungen der räumlichen Verteilung der Aufkommensmengen wurde ein stark vereinfachendes Konzept verfolgt, obwohl die Unterstellung einer Zufallsverteilung der Aufkommen realitätsnäher scheint. Aber man sollte nicht die Schwierigkeiten einer räumlich differenzierenden Betrachtung verkennen, wenn

funktionale Beziehungen zwischen einer größeren Anzahl von Verkehrsschwerpunkten zu untersuchen sind. So erleichtert es schon den Überblick, wenn davon ausgegangen wird, daß

- innerhalb der ausgeschiedenen räumlichen Gruppen die Aufkommen jeweils gleich sind,
- die Variation der Aufkommensmengen also nur zwischen den räumlichen Gruppen angenommen wird.

Die in diesem Sinne ausgewählten, in Tab. 16 aufgeführten Untersuchungsfälle betonen den Rand-Zentrum-Gegensatz, welcher in vielen theoretischen Ansätzen aus anderen Bereichen der Wirtschaftsgeographie ebenfalls eine Rolle spielt. Darüber hinaus ist versucht worden, den Beispielen reale, wenn auch idealisierte Teilverkehre zuzuordnen. Dabei wird von folgendem Aufbau des Wirtschaftsraumes ausgegangen (vgl. nächste Seite):

Tabelle 16

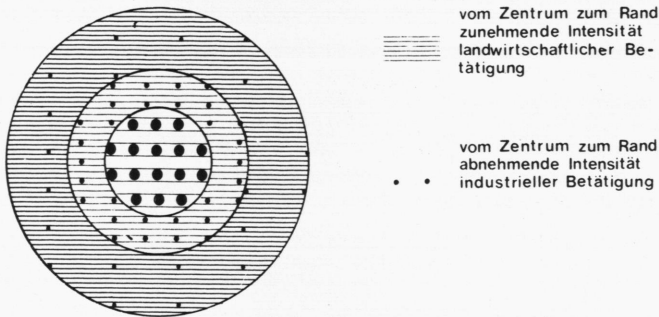
Übersicht über Aufkommensvariationen¹ der Modellrechnungen

Nr.	Versand			Empfang			Reale Teilverkehre bei Unter- stellung des idealen Raumes
	R	ZL	Z	R	ZL	Z	
10	1	1	1	1	1	1	
21	5	2,5	1	1	1	1	
22	1	2,5	5	1	1	1	
31	1	1	1	5	2,5	1	
32	1	1	1	1	2,5	5	
41	5	2,5	1	5	2,5	1	Verkehr eines Agrarproduktes mit Weiterverarbeitung im agrar. Raum (Molkerei, Zuckerrüben)
42	5	2,5	1	1	2,5	5	Verkehr eines Agrarproduktes mit überwiegender Weiterverarbeitung bzw. Verbrauch im Zentrum
43	1	2,5	5	5	2,5	1	Industrielle Produkte für Landwirtschaft (Landmaschinen/Düngemittel)
44	1	2,5	5	1	2,5	5	Verkehr mit Konsumgütern oder Halbfertigprodukten

¹ Variationen in Vielfachen angegeben:

Beispiel 21: Eine Randquelle hat 5mal soviel Versand wie eine Quelle im Zentrum, doppelt soviel wie eine Quelle in Zwischenlage.

Idealer Wirtschaftsraum



In 4.3 soll eine Erweiterung des Konkurrenzmodells betrachtet werden, welche beim einfachen Gravitationsmodell schon oft versucht worden ist: eine regionale Differenzierung des Exponenten der Entfernungsfunktion. So hat bspw. Smith [223] schon 1963 die räumlich unterschiedliche Interaktionsintensität innerhalb eines aus mehreren isolierten Teilgebieten bestehenden Untersuchungsraumes nachzuweisen versucht. Seither ist eine Fülle von empirischen Arbeiten erschienen, die darauf abzielen, für bestimmte Verkehrsrelationen oder auch Verkehrsschwerpunkte unterschiedliche Perzeptionen der Entfernung oder allgemeiner: des Aufwands zu unterstellen.

Betrachtet man die weniger zahlreichen Arbeiten, welche eine Einbettung dieser Erweiterung in die Theorie der Verkehrsverteilung versuchen, so erhält man z.T. gegensätzliche Aussagen. Während Curry [63, p.133] lediglich betont, daß das Gravitationsmodell nur mit einem für das gesamte Untersuchungsgebiet gültigen Exponenten definiert sei, diese Feststellung also nicht aus der Wilson'schen Herleitung ableitet, versucht Johnston [129], den Exponenten in einen variablen, von der Punktauswahl beeinflussten Teil und einen festen, für das gesamte Untersuchungsgebiet gültigen 'friction-Term' aufzuspalten. O'Sullivan [191] schließt aus Untersuchungsergebnissen bei Anwendung des Wilson-Modells, daß die regionale Differenzierung des Exponenten vom Land-Stadt-Gegensatz, von der

unterschiedlichen Erreichbarkeit der einzelnen Verkehrspunkte und u.a. auch von der Heterogenität des Güteraufkommens abhängig sei.

Edens [72] wird nach Überlegungen zur Prognosefähigkeit des Gravitationsmodells für den HBW-Verkehr (vgl. Edens) einer Stadt zur expliziten Aufnahme verschiedener Widerstandsfunktionen in sein Modell geführt, wobei Zonen gleicher Zugänglichkeit ein und dieselbe Widerstandsfunktion zugeordnet wird. Hier findet sich auch die erste empirische Überprüfung eines solchen Ansatzes, der die Überlegenheit gegenüber dem üblichen Modell zeigt. Wilson [256, pp.17-18] schließlich bemüht sich, den Ansatz von Edens in sein System einzubauen. In einer neueren Arbeit kommt Ruske [208] ebenfalls zum Ergebnis, daß für den Pendelverkehr zwar gleiche Widerstandsempfindungen der Bevölkerung vorausgesetzt werden können, jedoch die "verkehrsgeographische Lage der Quellen" (hierunter wird nicht nur die relative Lage, sondern auch die Verteilung der Aufkommensmengen verstanden) eine regionale Variation der Widerstandsfunktion erzwingt.

Ein eingehender Vergleich der Aussagen ist nicht möglich, da die Ausgangsbasen für die Überlegungen zu verschieden sind. Dennoch wird immer wieder das Bemühen erkennbar, die vielfältigen Einflüsse des Raumes und der Verteilung der Aufkommensmengen von der "echten" Friktion zu trennen. Nun soll hier nicht wieder die in Kap. 2 geführte Auseinandersetzung mit dem 'friction-Konzept' voll aufgegriffen werden. An der Raumabhängigkeit der Widerstandsfunktion wird auch weiterhin festgehalten. Dennoch fragt es sich, ob auch die Ansätze von Edens und O'Sullivan befriedigen können, die ja keine Abhängigkeit der verschiedenen Exponenten untereinander postulieren, sie vielmehr getrennt für jeden einzelnen Verkehrsschwerpunkt ermitteln.

Es ergibt sich folgender Ansatz:

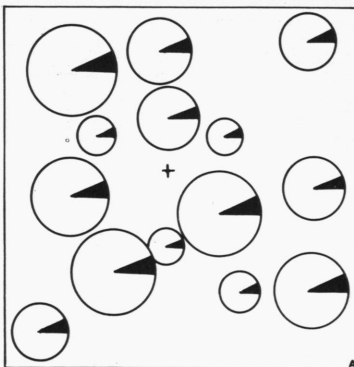
Unter einer gemeinsamen Verteilungshypothese des Gesamtraums und unter der Annahme, daß bei einer raumbundenen Widerstandsfunktion jede quelleneigene Perzeption der Entfernung (des Aufwands) das ganze Präferenzengefüge im System verändert, muß versucht werden, individuelle Züge der Verkehrsverteilung der betrachteten Verkehrsschwerpunkte herauszuarbeiten.

Nun ist im Entropie-Maximierungsansatz nicht enthalten, daß jede Quelle die gleiche Verteilungsstrategie (Aufwandseinschätzung, Entfernungsfunktion) verfolgen muß. Dies wird nur dadurch erzwungen, daß die Information über den Aufwand C für das Gesamtsystem, nicht aber für jede Quelle oder Senke bekannt ist. Hat man aber diese Informationen, welche die in 1.3.1 angegebene Informationsmenge erweitert, so ist es möglich, den Exponenten der Entfernungsfunktion zu regionalisieren, wobei der Ansatz der Entropie-Maximierung im Gesamtsystem unangetastet bleibt.

Wie hat man sich solche Verteilungsstrategien vorzustellen und wie sind sie feststellbar? Nun, sofern es sich um ein einzelnes Produkt handelt, welches vertrieben werden soll, wird man davon ausgehen können, daß die Verteilungsstrategie von der Größe des produzierenden Betriebes, seiner etwaigen wirtschaftlichen Abhängigkeit, der räumlichen Verteilung und wirtschaftlichen Stärke der Mitkonkurrenten und der potentiellen Abnehmer beeinflusst sein wird. Hier soll aber nicht auf betriebswirtschaftliche Gesichtspunkte eingegangen werden, deren Wichtigkeit keinesfalls verkannt wird. Vielmehr stehen zunächst einmal räumliche Ansätze zur Verteilung im Vordergrund.

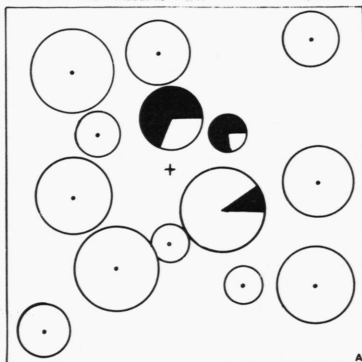
Abb. 64 Beispiele möglicher Versandstrategien; willkürliches Punktmuster

64.1 Gleicher Empfangsanteil



Eine erste Verteilungsstrategie bestünde darin, an jedem Teilmarkt, dargestellt durch die Empfangsschwerpunkte des Systems, einen konstanten Anteil zu erzielen (vgl. Abb. 64.1). Vertreten alle Quellen diese Verteilungsstrategie, erhält man die auf Stufe 1 betrachtete, raumunabhängige Verkehrsstrommatrix.

64.2 Tendenz zur Marktbeherrschung in Nachbarschaft



Eine zweite Verteilungsstrategie könnte in dem Bemühen gesehen werden, innerhalb einer gewissen Umgebung um den eigenen Standort marktbeherrschend zu sein (vgl. Abb. 64.2). Aber schon bei dieser Strategie hat man Schwierigkeiten mit ihrer Definition, da die Größe (und Gestalt) des Absatzgebietes abgesehen von der Größe des Versandaufkommens auch von der

Lage des Standorts im Gesamtsystem abhängig ist. So sollte man erwarten, daß bei gleichem Versandaufkommen eine randlich gelegene Quelle einen wesentlich größeren Absatzbereich benötigt als etwa eine zentral gelegene. Der Unterschied wird in hohem Maße vom Gesamtpunktmuster beeinflusst sein.

Zieht man sich noch einmal auf das Konzept Johnston's [129] zurück, welcher außer der ordinalen Perzeption auch noch feste Handelsvektoren einführt, so zeigen seine Ergebnisse, daß bei Einbezug des Raumes gleiche Verteilungsstrategien unterschiedliche Exponenten zur Folge haben. Dabei muß noch einmal bemerkt werden, daß das Problem der räumlichen Konkurrenz auf dieser seiner Betrachtungs-

ebene noch gar nicht gelöst ist und die Einflüsse der Regression auf seine Exponenten ebenfalls nicht untersucht sind. Im Konkurrenzmodell wird ja bekanntlich die Raumdifferenzierung der Widerstandsfunktion weitgehend von den Ausgleichsfaktoren übernommen. Es liegt also nahe, bspw. im Rahmen des Konkurrenzmodells folgende dritte Verteilungsstrategie zu betrachten (vgl.

64.3 Ordinale Median-Versandentfernung $k = 10$

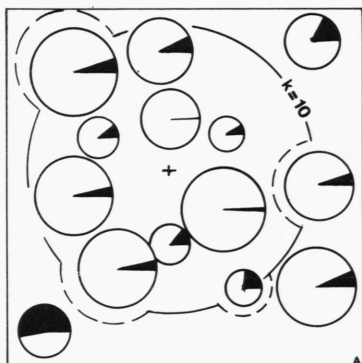


Abb. 64.3): Es kommt einem Versender darauf an, in den nächst gelegenen k Senken genausoviel Präferenzanteile abzusetzen wie in den entferntest gelegenen $n-k$ Senken.

Diese letztgenannte Verteilungsstrategie wurde unter Verwendung der idealen Punktmuster für die schon näher untersuchten Quellen 5, 8, 12 angenommen, wobei in jedem Berechnungsfall der Exponent der Entfernungsfunktion für alle übrigen Quellen konstant 1.0 blieb. Nur der Exponent der untersuchten Quelle wurde in Abhängigkeit dieser vorgegebenen Verteilungsstrategie bestimmt. Aus den erhaltenen Ergebnissen sind zwei Folgerungen zu ziehen:

4. Gleiche Verteilungsstrategien im Relativraum führen beim Konkurrenzmodell je nach relativer Lage der untersuchten Quellen zu unterschiedlichen Widerstandsfunktionen.
5. Durch das Ausscheren einer Quelle aus dem gemeinsamen Verband der Verkehrsverteilung werden die räumlich differenzierten Widerstandsfunktionen aller Quellen berührt.

Zieht man die genannte Literatur und die eben gezogenen Folgerungen in Betracht, so ist die für die angestrebte Erweiterung entscheidende Frage zu stellen:

Wie kann anhand der erhaltenen Modellparameter beurteilt werden, ob die Versandverteilung einer Quelle wesentlich von der Verteilungsstrategie abweicht, welche für ihre relative Lage erwartet werden kann?

Die hier benötigte Norm wird in erster Näherung in den Modellparametern des Konkurrenzmodells mit einem gemeinsamen Exponenten der Entfernungsfunktion für alle Quellen angesehen. Alle weitergehenden Überlegungen zur Anwendung dieser Bezugsbasis sind in 4.3.4 angestellt.

Auch die Modellrechnungen zur angestrebten Erweiterung sind so angelegt, daß nur begrenzte Variationen der Verteilungsstrategien zugelassen sind, wobei wieder innerhalb jeder ausgeschiedenen räumlichen Gruppe keine Variation stattfindet. In der nachfolgenden Übersicht sind die jeweils vorgegebenen (Versand-)Exponenten der Entfernungsfunktion dargestellt und gleichzeitig Situationen umrissen, die zu einer solchen Verteilung der Strategien führen

könnten (vgl. Tab. 17):

Tabelle 17

Übersicht der räumlichen Differenzierung der Exponenten für die Modellrechnungen auf Stufe 4

Nr.	(Versand-)Exponent der Entfernungsfunktion			"Reale-Welt-Situationen"
	Rand	ZL	Zentrum	
10	1,0	1,0	1,0	homogenes Gut; keine Differenzierung der Produktionsbedingungen
51	1,0	0,8	0,5	homogenes Gut; randlich hohe, zentral niedrige Verteilungskosten
52	0,5	0,8	1,0	homogenes Gut; im Zentrum bedingen 'economies of scale' und Dichte der Abnehmer einen geringen Einzugsbereich; randlich besteht der Zwang zur Spezialisierung auf transportkostenunempfindlichere Varianten des Gutes

Kombiniert man noch Aufkommensvariation und Differenzierung des Exponenten, so ergeben sich weitere Ansätze für Modellrechnungen, die realen Verhältnissen schon näher kommen (vgl. Tab. 18):

Tabelle 18

Übersicht der Kombination von Aufkommensvariation und räumlicher Differenzierung des Exponenten für Modellrechnungen auf Stufe 5

Nr.	(Versand-)Exponent der Entfernungsfunktion			V e r s a n d			E m p f a n g		
	Rand	ZL	Zentrum	R	ZL	Z	R	ZL	Z
61	1,0	0,8	0,5	5	2,5	1	1	1	1
62	1,0	0,8	0,5	1	2,5	5	1	1	1
63	1,0	0,8	0,5	1	1	1	5	2,5	1
64	1,0	0,8	0,5	1	1	1	1	2,5	5
71	0,5	0,8	1,0	5	2,5	1	1	1	1
72	0,5	0,8	1,0	1	2,5	5	1	1	1
73	0,5	0,8	1,0	1	1	1	5	2,5	1
74	0,5	0,8	1,0	1	1	1	1	2,5	5
81	1,0	0,8	0,5	5	2,5	1	5	2,5	1
82	1,0	0,8	0,5	5	2,5	1	1	2,5	5
83	1,0	0,8	0,5	1	2,5	5	5	2,5	1
84	1,0	0,8	0,5	1	2,5	5	1	2,5	5
85	0,5	0,8	1,0	5	2,5	1	5	2,5	1
86	0,5	0,8	1,0	5	2,5	1	1	2,5	5
87	0,5	0,8	1,0	1	2,5	5	5	2,5	1
88	0,5	0,8	1,0	1	2,5	5	1	2,5	5

4.2 UNTERSUCHUNG DES KONKURRENZMODELLS BEI VARIATION DER AUFKOMMENSMENGEN (STUFE 3)

4.2.1 Vorüberlegungen

Wenn es sich bei den in Kapitel 2 dargelegten Ausführungen zum Konkurrenzmodell um theoretische Ansätze handeln soll, dann müssen sie auch für die jetzt zu untersuchenden Aufkommensvariationen deduktiv durchzuführende Schlußfolgerungen gestatten. Um eine Überleitung von Stufe 2 zur Stufe 3 mit Variationen der Aufkommen zwischen den räumlichen Gruppen zu erhalten, bietet sich eine gedankliche Untersuchung des nachstehend beschriebenen einfachen Falles der Veränderung eines einzigen Versandaufkommens an.

Sei eines der beiden idealen Punktmuster gegeben und gegenüber Stufe 2 folgende veränderte Verkehrsverteilung bei gleichbleibendem Gesamtverkehr betrachtet:

$$\begin{aligned} V_i &= 800 \quad \forall i, i \neq k & E_j &= 1000 \quad \forall j. \\ V_k &= 5600 \end{aligned}$$

Das aufgestellte Konkurrenzmodell weist zwei Einflußmöglichkeiten der Aufkommensmengen auf die Verkehrsverteilung aus:

- (i) direkt in der multiplikativen Verknüpfung der Versandmenge der Quelle i und der Empfangsmenge der Senke j mit der Entfernungsfunktion;
- (ii) indirekt in der Kompensierung des Effekts der räumlichen Konkurrenz durch die Ausgleichsfaktoren A, B .

Betrachtet man zunächst (i) und vergegenwärtigt sich die Verhältnisse auf Stufe 2, so erhält jede Senke nur $\frac{4}{5}$ des Verkehrs von allen Quellen, die gegenüber Stufe 2 nur 800 statt 1000 Einheiten versenden, dagegen das 5,6 fache des Verkehrs von Quelle k gegenüber Stufe 2. Bei Berücksichtigung der Annahme der entfernungsabhängigen Kontaktintensität kommt es zu räumlich differenzierten Unter- bzw. Überschätzungen der Empfangskapazitäten, also einer Veränderung der räumlichen Versandkonkurrenz aufgrund der geänder-

ten Verteilung der Aufkommensmengen.

Wendet man sich nun (ii) zu, so wird klar, daß die Lage der Quelle k im Gesamtsystem eine wichtige Rolle spielt, denn sie hat aufgrund ihres Aufkommens für einen Ausgleich der Fehlschätzungen zu sorgen. So werden sich nach der Verkehrsverteilung in (i) vor allem für die in nächster Nähe der Quelle k gelegenen Senken z.T. kräftige Überschätzungen der Empfangskapazitäten ergeben, denn hier sind die Verkehrsbeziehungen der Quelle k besonders intensiv. Die Unterschätzungen werden vor allem in den von Quelle k entferntest gelegenen Senken auftreten, wo die Anteile von Quelle k am Gesamt-empfang wegen der Entfernungsabschwächung so gering sind, daß auch eine 5,6 fache Erhöhung keinen Ausgleich für die in den übrigen Empfangsrelationen eingetretenen Verminderungen bewirkt.

Sei angenommen, daß sich die Quelle k im Zentrum des Punktmusters befindet. Für Stufe 2 weiß man, daß die räumliche Versandkonkurrenz vom Zentrum zum Rand abnimmt, die sie kompensierenden B-Werte entsprechend vom Zentrum zum Rand zunehmen. Nun erhöht aber offensichtlich die gesteigerte Versandmenge von k die auf Stufe 2 nur lagebedingte räumliche Versandkonkurrenz für zentrale Senken, erniedrigt sie für Randsenken. Die Folge ist ein Abfallen der B-Werte im Zentrum gegenüber Stufe 2, ein Anstieg am Rand. Hier wird noch einmal deutlich, wie sehr sich das Konkurrenzmodell vom einfachen Gravitationsmodell unterscheidet, welches sich mit dem Stand von (i) zufriedengibt.

Die durch das hohe Versandaufkommen der Quelle k verminderte Attraktivität der Nachbarsenken bewirkt in Verbindung mit der erhöhten Attraktivität der von Quelle k entferntest gelegenen Senken eine Zunahme der Entropie für die von k ausgehende Verkehrsverteilung. Denn die räumliche Variation der B-Werte ist für diese zentrale Quelle noch stärker als auf Stufe 2 der Wirkung der Entfernungsfunktion entgegengerichtet: mit wachsender Entfernung von der Quelle nehmen die B-Werte gegenüber Stufe 2 stärker zu, kompensieren also in höherem Maße die die Interaktion abschwächende Wirkung der Entfernungsfunktion. Umgekehrt wird für die randlichen Quellen dieses Systems eine Entropieabnahme ihrer Verkehrsverteilung erwartet.

Damit hat man ohne Modellrechnung aus den Ansätzen des Kap. 2 die 1. Aussage von 4.1 für diesen Spezialfall abgeleitet. Die nun zu betrachtenden Modellrechnungen geben eine erweiterte Zahl von Beispielen und gestatten auch die Bestätigung der beiden nächsten Aussagen. Es soll bei ihrer Besprechung gezeigt werden, wie man für allgemeine Situationen die Einflüsse von relativer Lage und Aufkommensvariation auf die räumliche Konkurrenz im System abschätzen kann. Auch hierzu wird eine Vorüberlegung durchgeführt.

Betrachtet man die in 2.3 angegebene Form der räumlichen Konkurrenz, die ja im Falle der Empfangskonkurrenz noch erweitert wurde, fällt die schon erwähnte Ähnlichkeit mit einem verallgemeinerten Potential auf. In der umfangreichen Literatur (vgl. Carrothers [47]) zur Verwendung des Potentialbegriffs findet sich aber selten ein Hinweis auf die Verknüpfung des Potentials mit der relativen Lage des Punktes, für den das Potential zu bestimmen ist, und der Variation des Merkmals (Bevölkerung, Niederschlag etc.). Dieser Zusammenhang sei nachfolgend hergestellt.

Abb. 65 Herleitung und Betrachtung der räumlichen Kovarianz von Aufkommen und relativer Lage Muster wie bei Abb. 64

65.1 Betrachtete Quelle und Empfangsmengenverteilung

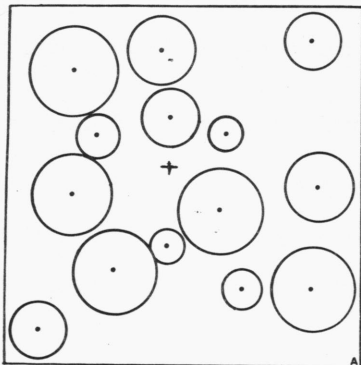


Abb. 65.1 zeigt die Ausgangssituation, wie sie sich für die Berechnung der räumlichen Konkurrenz an einem Verkehrsschwerpunkt darstellt. Entscheidend wird die Konkurrenz von der Entfernung des Schwerpunktes zu anderen gewichtigen Aufkommensschwerpunkten abhängen.

Diagramm zur Darstellung der Ergebnisse der Faktorenanalyse. Ein zentraler Kreis enthält verschiedene geometrische Formen (Quadrat, Rechteck, Balken) in Schwarz und Weiß, die mit Plus- und Minuszeichen markiert sind. Um den Kreis herum sind weitere Formen angeordnet, ebenfalls mit Plus- und Minuszeichen. Unten links steht die Formel $4 \cdot (E - \bar{E})$ mit einem $d-d$ -Index. Unten rechts steht die Formel $F \square = -1,027$. Rechts unten steht das Wort "positiver Beitrag" und links unten das Wort "negativer Beitrag".

Dieses Bild kann als erste Näherung für die Berechnung der räumlichen Konkurrenz dienen. Es zeigt klar die Abhängigkeit der räumlichen Konkurrenz des betrachteten Verkehrsschwerpunktes von seiner relativen Lage, die ja annäherungsweise durch die Angabe der Durchschnittsentfernung zu allen anderen Punkten umschrieben werden kann. Randliche Punkte werden größere Durchschnittsentfernungen haben. Also ist der Kreisradius größer, die Konkurrenz geringer

Diese erste Näherung der Bestimmung der Konkurrenz kann durch Einbezug der Aufkommensvariation verbessert werden. Sei für die nachfolgenden Überlegungen vorausgesetzt, daß mit wachsender Entfernung der Einfluß eines Mitkonkurrenten schwächer wird, die Entfernungsfunktion einen positiven Exponenten hat. Dann wird man die infolge der Vereinfachung in Abb. 65.2 begangenen Fehler dadurch mildern

können, daß

innerhalb der Durchschnittsentfernung gelegene Verkehrsschwerpunkte mit größerem Aufkommen als der Durchschnitt p o s i t i v gewichtet,

innerhalb der Durchschnittsentfernung gelegene Verkehrsschwerpunkte mit geringerem Aufkommen als der Durchschnitt n e g a t i v gewichtet,

außerhalb der Durchschnittsentfernung gelegene Verkehrsschwerpunkte mit größerem Aufkommen als der Durchschnitt n e g a t i v gewichtet,

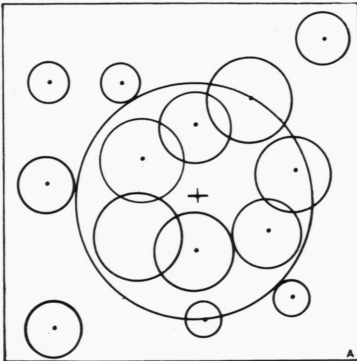
außerhalb der Durchschnittsentfernung gelegene Verkehrsschwerpunkte mit geringerem Aufkommen als der Durchschnitt p o s i t i v gewichtet

werden. Hierdurch wird schon eine Möglichkeit geboten, die Variation der Aufkommen auszudrücken, nämlich als Differenz des Einzelaufkommens und des mittleren Aufkommens. Es fragt sich nur, wie diese Differenzen im Raum verteilt sind. Der in Abb. 65.2 begangene Fehler wird ja nur dann gemildert, wenn auch die Lage der Differenz relativ zur angenommenen (Durchschnitts-)Lage berücksichtigt wird. In Abb. 65.3 ist die Berücksichtigung der relativen Lage dadurch vollzogen, daß die Basis der Rechtecke gleich dem Betrag der Differenz von tatsächlicher und durchschnittlicher Entfernung zum betrachteten Verkehrsschwerpunkt gewählt ist.

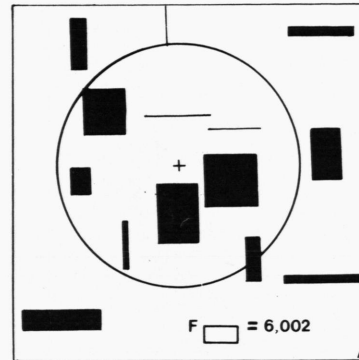
Aus diesen Bemerkungen wird deutlich, daß wieder das alte geographische Problem zu lösen ist, die Verknüpfung zweier räumlich verteilter Größen, hier: Aufkommensvariation und Entfernungsva-
riation zu beurteilen. Hier bietet sich als Maß die Kovarianz an, die - mit der 1. Ableitung der Entfernungsfunktion an der Durchschnittsentfernung - gewichtet als Korrektur der in Abb. 65.2 erhaltenen räumlichen Konkurrenz dienen kann [*, M 3.2]. Aus Abb. 65.3 kann die Kovarianz bis auf eine multiplikative Konstante (Ableitung) dadurch ermittelt werden, daß die Gesamtfläche der Rechtecke unter Beachtung ihrer Vorzeichen bestimmt wird.

Es sollen nun leicht zu untersuchende Idealfälle von Aufkommensverteilungen betrachtet werden, um die beschriebenen Einflüsse zu verdeutlichen.

65.4 Hohe Empfangsmengen
innerhalb Durchschnitts-
Versandentfernung



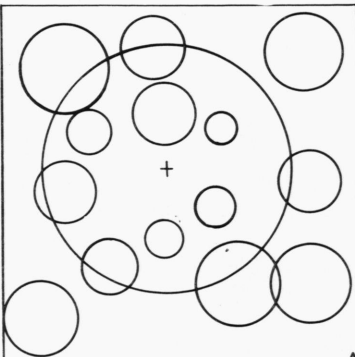
65.5 Komponenten der Kovarianz
zu Abb. 65.4



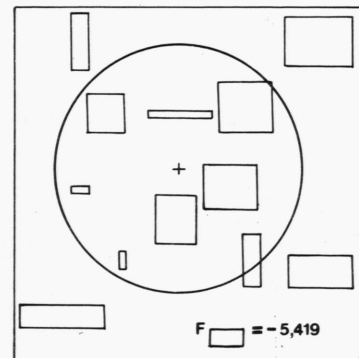
Hat man eine räumliche Verteilung dergestalt, daß mit zunehmender Entfernung vom Ausgangspunkt die Aufkommen sinken, bspw. innerhalb der Durchschnittsentfernung größere Aufkommen als der Durchschnitt, außerhalb der Durchschnittsentfernung geringere Aufkommen (vgl. Abb. 65.4), so erhält man nach den oben getroffenen Vereinbarungen eine Kovarianz, die größer als 0 ist. Damit wird die analog Abb. 65.2 erhaltene erste Schätzung der räumlichen Konkurrenz durch diese Aufkommensverteilung erhöht (vgl. Abb. 65.5).

Eine der eben besprochenen Verteilung entgegengesetzte (Abb. 65.6) hat eine negative Kovarianz zur Folge, die den aus Abb. 65.2 gewonnenen ersten Schätzwert der räumlichen Konkurrenz vermindert (vgl. Abb. 65.7).

65.6 Niedrige Empfangsmengen
innerhalb Durchschnitts-Versand-
entfernung



65.7 Komponenten der Kovarianz
zu Abb. 65.6

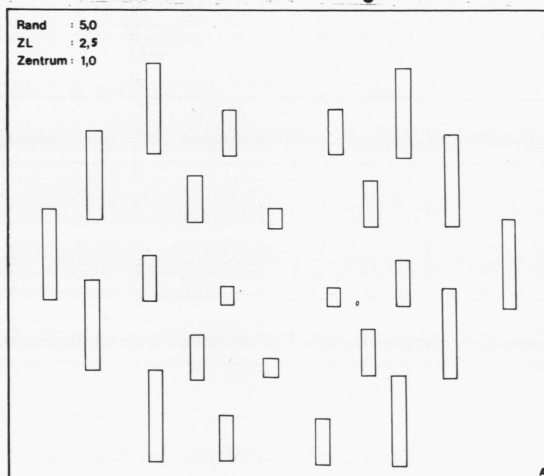


Die Kovarianz würde bspw. keinen Beitrag liefern, wenn alle Aufkommensmengen gleich wären. Dann hätte man ja auch keine Aufkommensvariation. Sie würde sich auch dann vermindern, wenn die Aufkommen zufällig, d.h. in keinem erkennbaren Sinn mit der relativen Entfernung variierten (vgl. Abb. 65.1 und Wert der Kovarianz in Abb. 65.3).

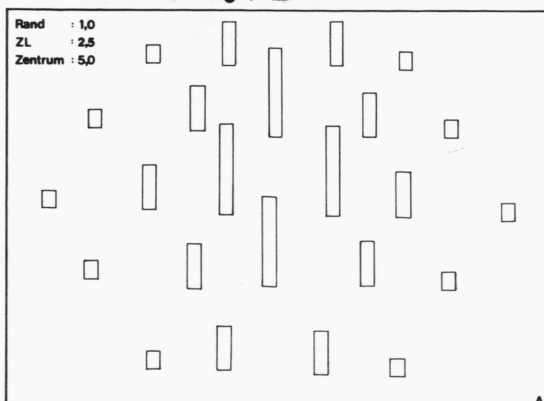
Faßt man die für die idealen Punktmuster vorgesehenen Aufkommensvariationen ins Auge (Abb. 66), so zeigen die beiden Grundvertei-

Abb. 66 Grundmuster der für die Modellrechnungen ausgewählten räumlichen Aufkommensvariationen am Beispiel von 'Hexagonal'

66.1 Randlich hohe, zentral niedrige Aufkommen



66.2 Randlich niedrige, zentral hohe Aufkommen



lungen Gemeinsamkeiten mit den eben besprochenen Fällen. Am einfachsten gestalten sich die Verhältnisse für zentral gelegene Verkehrsschwerpunkte, da sich im Zentrum gewissermaßen die Symmetrieachsen für die ausgewählten Variationen schneiden und die oben durchgeführten Überlegungen sofort übertragbar sind. Schwieriger werden die Einflüsse der Variationen auf die Verkehrsverteilungen der Zwischenlage und des Randes abzuschätzen sein, so daß die Ergebnisse der Modellrechnungen herangezogen werden müssen. Hierbei wird zuerst das Punktmuster 'Verzerrung' betrachtet, bei dem die zu erwartenden Regelmäßigkeiten klarer als bei 'Hexagonal' erkennbar sind. Gerade bei diesen Untersuchungen machen sich die schon in 2.2 behandelten Abweichungen des hier verwendeten vom reinen Hexagonalmuster deutlich bemerkbar.

4.2.2 Veränderung der räumlichen Konkurrenz auf Stufe 3 gegenüber Stufe 2

(i) Räumliche Empfangskonkurrenz

In der hier verwendeten Näherung

$$\begin{array}{lcl} \text{Empfangskonkurrenz} & n & \\ \text{an der Quelle } i & : & \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n E_j d_{ij}^{-\alpha} \end{array}$$

hängt die räumliche Empfangskonkurrenz von der Variation der Empfangs-, nicht aber von derjenigen der Versandmengen ab. Demzufolge können die in Tab. 16 aufgeführten Modellrechnungen in drei Gruppen mit jeweils gleichen Empfangsmengenvariationen der Gruppenmitglieder zusammengefaßt werden (vgl. Tab. 19):

Tabelle 19

Gruppierung von Modellrechnungen der Stufe 3 mit jeweils gleichen Empfangsmengen-Variationen

Gruppe	Nummer der Modellrechnung nach Tab.16			Empfangsmengen-Variation		
				Rand	ZL	Zentrum
1	10	21	22	1	1	1
2	31	41	43	5	2,5	1
3	32	42	44	1	2,5	5

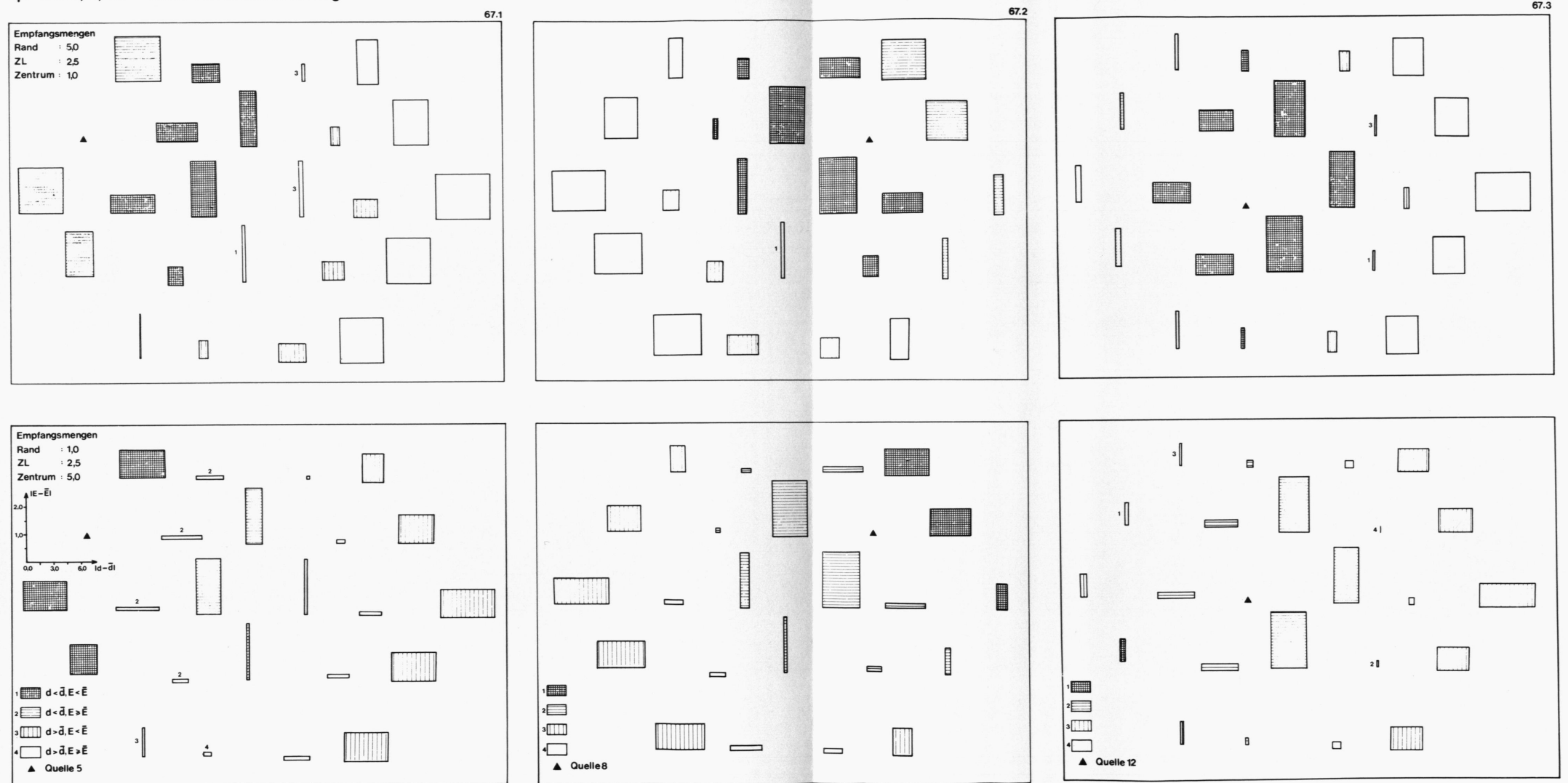
Für die Gruppe 1 wurde die regionale Verteilung schon in Kapitel 2 beschrieben: Abnahme der Empfangskonkurrenz vom Zentrum zum Rand hin. Die in 2.2.3 gegebene Begründung kann durch die in 4.2.1 durchgeführte Vorüberlegung dahingehend ergänzt werden, daß die Kovarianz für alle Punkte verschwindet, somit ausschließlich die relative Lage der Quelle ihre Empfangskonkurrenz bestimmt.

Für die Gruppe 2 nehmen die Empfangsmengen vom Zentrum zum Rand zu, oder anders ausgedrückt: je größer die durchschnittliche Versandweite eines Verkehrsschwerpunktes, um so größer seine Empfangsmenge. Damit gilt, daß die Kovarianz für alle Punkte des Untersuchungsgebietes negativ ist, somit im Vergleich zu Gruppe 1 absolut geringere Empfangskonkurrenzen an den Quellen herrschen (vgl. TA 8, TA 9).

Umgekehrt nehmen für Gruppe 3 mit steigender durchschnittlicher Versandweite die Empfangsmengen ab. Demgemäß ist die Kovarianz für alle Punkte positiv und im Vergleich zu Gruppe 1 herrschen absolut höhere Empfangskonkurrenzen an den Quellen.

Es interessieren hier jedoch nicht so sehr die globalen Veränderungen wie die regionalen: wie hat sich der Rand-Zentrum-Gegensatz verändert? Denn die regionalen Veränderungen sind es, die Richtung und Stärke der modellmäßig berechneten Verkehre beeinflussen. Demnach sind die Differenzierungen der Werte der Kovarianz innerhalb des Untersuchungsgebietes für die einzelnen Gruppen getrennt zu betrachten. Hierzu sollen die Kovarianzen für je einen Punkt aus den räumlichen Gruppen und die Aufkommensvariationen (5/2,5/1) bzw. (1/2,5/5) bei Punktmuster 'Hexagonal' betrachtet werden (vgl. Abb. 67).

Abb. 67 Modellrechnungen 31, 32 Stufe 3; 'Hexagonal': Komponenten der Kovarianz für die Einzelquellen 5, 8, 12 - ohne Vorzeichenänderung



Entsprechend den getroffenen Vereinbarungen über die Gewichtung liefern kreuzschraffierte Rechtecke und solche ohne Schraffur einen negativen, Rechtecke mit Quer- oder Längsschraffur einen positiven Beitrag zur Kovarianz. Die Gesamtsumme aller entsprechend gewichteten Rechtecke ergibt den Wert der Kovarianz.

Für die Aufkommensvariation (5/2,5/1) der Empfangsmengen ist - wie schon festgestellt - die Kovarianz für alle Punkte negativ. Dies ist sofort für die zentrale Quelle 12 ersichtlich (Abb. 67.3), da die negativ gewichteten Rechtecke flächenmäßig klar überwiegen.

Auch bei der Quelle 8, die der Zwischenlage angehört, erkennt man, daß die Kovarianz negativ ist; jedoch hat sich gegenüber Quelle 12 die Fläche der positiv gewichteten Rechtecke vergrößert, der Betrag der Kovarianz verringert (Abb. 67.2).

Recht schwer ist es, die negative Kovarianz im Falle der randlich gelegenen Quelle 5 festzustellen (Abb. 67.1). Gegenüber Abb. 67.2 ist die Fläche der positiv gewichteten Rechtecke weiter gewachsen, so daß die Kovarianz zwar negativ ist, jedoch im Vergleich den niedrigsten Wert aufweist.

Geht man zur Aufkommensvariation (1/2,5/5) über, dann erhält man übertragen ähnliche Ergebnisse für die räumliche Variation der Kovarianz. Sie ist für alle Punkte positiv, hat den größten Betrag für die zentrale Quelle 12, den kleinsten für die randliche Quelle 5.

Damit ergibt sich, daß die Kovarianz betragsmäßig vom Zentrum zum Rand fallende Werte aufweist und damit entgegen der Durchschnitts-Versandentfernung variiert. Nach den oben durchgeführten Überlegungen bedeutet dieses Verhalten

- für die Gruppe 2 eine Abschwächung des Rand-Zentrum-Gegensatzes,
- für die Gruppe 3 eine Verstärkung des Rand-Zentrum-Gegensatzes

der Empfangskonkurrenz an den Quellen. Ein Blick auf Tab. 9 des TA für 'Verzerrung' zeigt, daß demzufolge in der Reihung

(32, -42, 44) - (10, 21, 22) - (31, 41, 43)

für relative Werte der Ausgleichsfaktoren der Empfangskonkurrenz A_i die A_i randlich abnehmen, in randnaher Zwischenlage abnehmen, in zentrumsnaher Zwischenlage zunehmen und zentral zunehmen.

Tabelle 20

Statistische Kenndaten der Verteilung der Ausgleichsfaktoren A der Empfangskonkurrenz an den Quellen für die Modellrechnungen auf Stufe 3 - beide Punktmuster -

Statist. Kenn- daten	Hexagonal Modellrechnungen (Gruppen Tab.19)			Verzerrung Modellrechnungen (Gruppen Tab.19)		
	1	2	3	1	2	3
\bar{x}	1,078	1,040	1,024	1,333	1,220	1,133
s	0,313	0,218	0,164	0,783	0,605	0,453
v	0,290	0,209	0,160	0,588	0,496	0,400
max	1,785	1,528	1,343	3,410	2,850	2,390
min	0,720	0,774	0,773	0,560	0,610	0,676
range	1,065	0,754	0,570	2,850	2,240	1,714

Auch die aus den Verteilungen der in Tab. 9 des TA aufgeführten Einzelwerte gewonnenen statistischen Kenndaten belegen die obigen Aussagen. So nehmen die Maxima in der angegebenen Reihung der Modellrechnungen ab, die Minima zu. Gleichzeitig sinken Durchschnitt und Standardabweichung.

Ein Vergleich der Punktmuster bestätigt, daß die Einflüsse der Empfangsmengenvariation auf die Ausgleichsfaktoren bei Punktmuster 'Hexagonal' ähnlich zu Tage treten, jedoch in abgeschwächter Form.

Zusammenfassung:

Eine Variation der Empfangsmengen entgegen der in 2.2.3 festgestellten, von der relativen Lage der Quellen abhängigen räumlichen Empfangskonkurrenz führt zur Abschwächung derselben (Gruppe 2 (31, 41, 43)); variieren die Empfangsmengen mit der in 2.2.3 festgestellten räumlichen Empfangskonkurrenz, so wird dieselbe im Untersuchungsraum verstärkt (Gruppe 3 (32, 42, 44)).

Das Ausmaß der Abschwächung und Verstärkung ist vom benutzten Punktmuster abhängig.

(ii) Räumliche Versandkonkurrenz

Auch die Näherung der Versandkonkurrenz

$$\text{Versandkonkurrenz an der Senke } j : \left[\frac{V_1 d_{1j}^{-\alpha}}{\sum_{k=1, k \neq j}^n E_k d_{1k}^{-\alpha}} \right] = \sum_{l=1, l \neq j}^n A_l V_l d_{lj}^{-\alpha}$$

hat - für konstantes A - die in 4.2.2 (i) betrachtete Form der Empfangskonkurrenz. Damit sind für eine symmetrische Entfernungsmatrix die für die Empfangskonkurrenz durchgeführten Überlegungen auch für die Versandkonkurrenz gültig, lediglich mit der Übertragung, daß statt der Variation der Empfangsmengen nun diejenige der Versandmengen zu betrachten ist. Es ergeben sich demgemäß folgende Gruppen von Modellrechnungen mit gleicher Versandmengen-Variation, für die die Versandkonkurrenz in ihrer regionalen Differenzierung jeweils gleich ist (vgl. Tab. 21):

Tabelle 21

Gruppierung von Modellrechnungen der Stufe 3 mit jeweils gleichen Versandmengen-Variationen

Gruppe	Nummer der Modellrechnung nach Tab. 16			Versandmengen-Variation		
				Rand	ZL	Zentrum
4	10	31	32	1	1	1
5	21	41	42	5	2,5	1
6	22	43	44	1	2,5	5

Entsprechend den in (i) gezogenen Schlüssen erzielt man in der Reihung

$$(22, 43, 44) - (10, 31, 32) - (21, 41, 42)$$

eine Abnahme der räumlichen Konkurrenzunterschiede zwischen Rand und Zentrum.

Nun sind aber die A nicht konstant, zeigen vielmehr eine ausgeprägte Variation, die durch die Veränderung der Empfangsmengen beeinflußt wird. Damit fragt sich, wie die räumliche Variation

der Empfangsmengen die Verteilung der Versandkonkurrenz beeinflusst. Hierüber geben die in Tab. 10, 11 des TA zusammengetragenen Ergebnisse der Modellrechnung und die daraus abgeleitete Tab. 22 Auskunft.

Tabelle 22

Statistische Kenndaten der Verteilung der Ausgleichsfaktoren B der Versandkonkurrenz an den Senken für die Modellrechnungen auf Stufe 3 - beide Punktmuster -

	H e x a g o n a l								
Modellrechnung Nr. (nach Tab.16)	43	22	44	31	10	32	41	21	42
Statistische Kenndaten									
\bar{x}	1,07	1,07	1,06	1,04	1,03	1,03	1,02	1,02	1,02
s	0,30	0,29	0,28	0,22	0,19	0,18	0,16	0,15	0,15
v	0,28	0,28	0,19	0,21	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14
max	1,79	1,77	1,75	1,57	1,52	1,47	1,36	1,35	1,35
min	0,72	0,73	0,75	0,79	0,81	0,81	0,82	0,79	0,79
range	1,07	1,04	1,00	0,78	0,71	0,66	0,54	0,56	0,56

	V e r z e r r u n g								
Modellrechnung Nr. (nach Tab.16)	43	22	44	31	10	32	41	21	42
Statistische Kenndaten									
\bar{x}	1,27	1,26	1,24	1,19	1,15	1,13	1,10	1,09	1,08
s	0,70	0,67	0,64	0,55	0,48	0,45	0,39	0,37	0,35
v	0,55	0,53	0,52	0,47	0,42	0,40	0,35	0,34	0,33
max	3,16	3,07	2,99	2,72	2,53	2,45	2,25	2,21	2,17
min	0,59	0,60	0,61	0,63	0,67	0,69	0,73	0,75	0,77
range	2,57	2,47	2,38	2,09	1,86	1,76	1,52	1,46	1,40

Nach Übergang zu relativen Werten der die Versandkonkurrenz ausgleichenden B-Werte erhält man für die untersuchten Punktmuster:

Variieren die Empfangsmengen räumlich entgegen der Empfangskonkurrenz, so erhöhen sie die Versandkonkurrenzunterschiede zwischen Rand und Zentrum; dagegen wirkt eine räumliche Variation mit der Empfangskonkurrenz abschwächend auf die Versandkonkurrenzunterschiede.

Dieses Ergebnis gestattet eine weitere Differenzierung der Modellrechnungen innerhalb der in Tab. 21 ausgewiesenen Gruppen. In der nachstehenden Reihung ist jede Modellrechnung so eingeordnet, daß sich (von links nach rechts) abschwächende Konkurrenzgegensätze zwischen Rand und Zentrum ergeben (vgl. auch Tab. 22):

43	22	44	31	10	32	41	21	42
→								
abnehmender Rand-Zentrum-Konkurrenzgegensatz innerhalb des Systems.								

Die Abschwächung des Konkurrenzgegensatzes geht jedoch noch nicht so weit, daß die räumliche Verteilung der B-Werte, wie sie in 2.6.1 beschrieben wurde, umgekehrt würde. Nach wie vor weisen die randlichen Punkte die höchsten, die zentralen Punkte die niedrigsten Werte auf. Im Vergleich der Punktmuster zeigen sich nicht in der Reihung, nur im Ausmaß der räumlichen Konkurrenz Unterschiede.

Betrachtet man die Ergebnisse von (i) und (ii) noch einmal unter dem Blickwinkel der Erweiterung der Stufe 2, der die Modellrechnung 10 mit überall gleichen Versand- und Empfangsmengen entspricht, so stellt man fest:

1. Die Empfangskonkurrenz ist abgesehen von der relativen Lage abhängig von der räumlichen Variation der Empfangsmengen, die Versandkonkurrenz primär von derjenigen der Versandmengen und infolge Rückkopplung auch von der Variation der Empfangsmengen, die modifizierend wirkt.
2. Ein Wachsen der Aufkommensmengen vom Zentrum zum Rand schwächt die jeweilige Konkurrenz ab, ein Abfall der Aufkommensmengen verstärkt sie (vgl. Ausführungen zur Kovarianz). Nehmen zudem im Falle der Versandkonkurrenz die Empfangsmengen vom Zentrum zum Rand ab - d.h. Variation mit der auf Stufe 2 festgestellten lagebedingten Konkurrenz - so wirkt sich das abschwächend auf den Rand-Zentrum-Gegensatz aus; eine räumlich entgegengesetzte Variation wirkt hingegen verstärkend.

Hier zeigt sich, daß die Ausgleichsfaktoren nicht nur lokale Konkurrenzeffekte ausgleichen, sondern auch im Gesamtsystem für eine Maximierung der Entropie der Verkehrsverteilung sorgen. Man erhält eben nicht mit der Kombination der bei den Ausgleichsfaktoren jeweils maximale Rand-Zentrum-Gegensätze erzeugenden Aufkommensmengen auch für den Gesamtverkehr die niedrigste Entropie. Um dies zu erreichen, muß man auf räumlich entgegengesetzte Variationstypen

zurückgreifen. Es erweist sich, daß gewissermaßen im Ansatz für die Definition der räumlichen Konkurrenz eine das Gesamtsystem beeinflussende Ausgleichsbewegung begründet liegt (vgl. Tab. 23).

Tabelle 23

Räumliche Konkurrenz in Abhängigkeit von Aufkommensvariationen

Ausgleichs- faktor	Rand-Zentrum-Gegensatz	
A	V: beliebig E: 1/2,5/5	V: beliebig E: 5/2,5/1
B	V: 1/2,5/5 E: 5/2,5/1	V: 5/2,5/1 E: 1/2,5/5

(Aufkommensvariationen abgekürzt für Rand/ZL/
Zentrum)

3. In Abschnitt 2.4 wurde für räumlich gleichverteilte Aufkommensmengen durch Übergang von Punktmuster 'Hexagonal' zu Punktmuster 'Verzerrung', d.h. durch Veränderung der Versand- bzw. Empfangs-Entfernungsverteilung, eine Verschärfung der (lagebedingten) räumlichen Konkurrenz erreicht. Hier konnte gezeigt werden, daß dieser Effekt bei Konstanz des Punktmusters auch durch geeignete Variation der Aufkommensmengen erreicht werden kann.

Obwohl durch die multiplikative Verknüpfung von Entfernungsfunktion und Aufkommen in den hier behandelten Modellen evident, wurde auf diesen Umstand der "Dualität" von relativer Lage und räumlicher Verteilung der Aufkommensmengen bislang kaum Bezug genommen. Dabei ergeben sich gerade hierdurch erhebliche Beeinflussungen der modellhaft berechneten Verkehrsverteilung.

4.2.3 Beeinflussung der regionalen Verkehrsverteilung und der Entropie

Bislang wurden mit A und B die jeder Quelle bzw. Senke zukommenden Konkurrenzausgleiche betrachtet. Jetzt sollen die Auswirkungen der Aufkommensvariationen auf die im Modell vorgenommene Verkehrsverteilung beleuchtet werden. Hierzu genügt es, die schon eingeführte Präferenzmatrix [*, M 4.2] zu untersuchen. Sie hat folgenden allgemeinen Aufbau:

$$T \cdot \begin{bmatrix} A_1 B_1 d_{11}^{-\alpha} & \dots & A_1 B_j d_{1j}^{-\alpha} & \dots & A_1 B_n d_{1n}^{-\alpha} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ A_i B_1 d_{i1}^{-\alpha} & \dots & A_i B_j d_{ij}^{-\alpha} & \dots & A_i B_n d_{in}^{-\alpha} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ A_n B_1 d_{n1}^{-\alpha} & \dots & A_n B_j d_{nj}^{-\alpha} & \dots & A_n B_n d_{nn}^{-\alpha} \end{bmatrix}$$

Die Versandpräferenzen der Quelle i - das entspricht der i-ten Zeile der Präferenzmatrix - sind also abhängig von

- der räumlichen Verteilung der B-Werte
- der relativen Lage der Quelle i, wie sie in den Werten der Entfernungsfunktion des Modells $f(d) = d_{ij}^{-\alpha}$ zum Ausdruck kommt.

Der der Quelle i zugeordnete Ausgleichsfaktor A_i geht nur als konstanter Faktor ein.

Analog werden die Empfangspräferenzen der Senke j - j-te Spalte der Präferenzmatrix - außer von den Werten der Entfernungsfunktion durch diejenigen von A im Gesamttraum beeinflusst.

Abb. 68 zeigt in Fortführung der Untersuchungen des Abschnittes 2.6.3 die Bildung der Versandpräferenzen für je eine Quelle aus den drei ausgeschiedenen räumlichen Gruppen und für die Modellrechnungen 43, 10, 42 unter Verwendung beider idealer Punktmuster.

Betrachtet man von Stufe 2 ausgehend - Modellrechnung 10 - die Verkehrsverteilung auf Stufe 3 unter wachsendem Rand-Zentrum-Gegensatz der Versandkonkurrenzverteilung - Modellrechnung 43 -, so fällt bei der Präferenzverteilung der randlichen Quelle 5 neben der Intensivierung der Kontakte zu den nächsten Rand-Nachbarn die ausgeprägte Überhöhung des Gegen-Randes und der rasche Abfall zum Zentrum auf (Punktmuster Verzerrung). Diese Verteilung spiegelt den Einfluß der B-Werte wieder, wobei die Asymmetrie durch die Einwirkung der Entfernungsfunktion hervorgerufen ist. Anders bei den Beispielquellen der zentrumsnahen ZL und des Zentrums. Da die Versandkonkurrenz im Zentrum höher als bei Gleichverteilung der Aufkommensmengen ausfällt und mit wachsender Entfernung von der Quelle stärker abnimmt als auf Stufe 2, ergibt sich in beiden Fällen eine stärkere Gleichverteilung der Präferenzen. Es heben sich also zunehmend die Einflüsse der B-Werte und der Entfernungsfunktion auf, was für die zentrumsnahe ZL und das Zentrum eine Erhöhung der Entropie der Versandpräferenzverteilung zur Folge haben dürfte. Im Gegensatz dazu der Rand, welcher sich im Vergleich zu Stufe 2 durch niedrigere Entropien der Versandpräferenzverteilungen auszeichnen sollte.

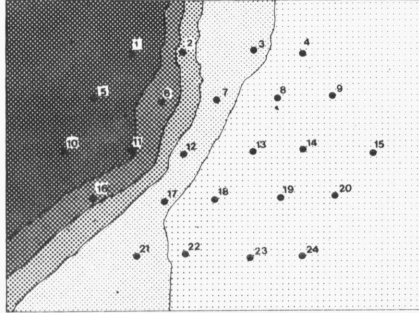
Wendet man sich von Stufe 2 ausgehend dem anderen Extrem zu, der Einebnung des Rand-Zentrum-Gegensatzes der Versandkonkurrenz, so zeigen die Beispiele wieder regional unterschiedliche Auswirkungen auf die Präferenz- und damit auf die Verkehrs-Verteilung. Während bei Quelle 5 der Abfall der Präferenzen von der Quelle zum Zentrum und der nachfolgende Anstieg zum Gegenrand flacher als bei Modellrechnung 10 verläuft, lassen die Verteilungsmuster der Versandpräferenzen der zentrumsnahen ZL 8 und der zentral gelegenen Quelle 12 eine stärkere Ungleichverteilung erkennen. Denn nun ist die gegenläufige Tendenz der B-Werte gegenüber den Werten der Entfernungsfunktion für Quellen der ZL und des Zentrums nicht mehr so stark, so daß sich die Entfernungsfunktion nachhaltiger in den Werten der Versandpräferenz niederschlägt. Als Folge ist zu vermuten, daß die Entropie der Versandpräferenzverteilungen gegenüber Stufe 2 für randlich gelegene Quellen zunimmt, für Quellen der zentrumsnahen ZL und des Zentrums dagegen abnimmt.

Abb. 68 Modellrechnungen 43, 10, 42 Stufe 3; ideale Punktmuster: Präferenzverteilung der Quellen 5, 8, 12

Hexagonal; Quelle 5

Modellrechnung 43; V: 1,0/2,5/5,0 E: 5,0/2,5/1,0

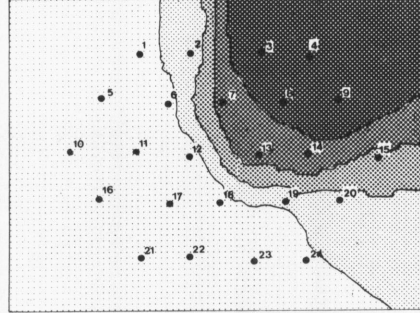
68.1



Hexagonal; Quelle 8

Modellrechnung 43; V: 1,0/2,5/5,0 E: 5,0/2,5/1,0

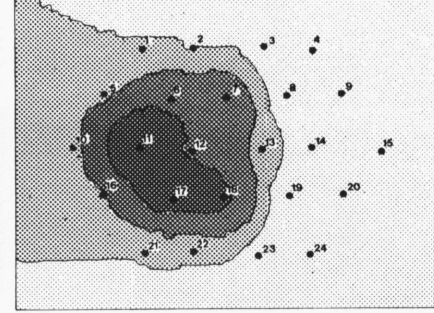
68.2



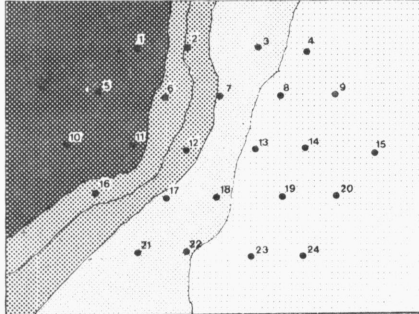
Hexagonal; Quelle 12

Modellrechnung 43; V: 1,0/2,5/5,0 E: 5,0/2,5/1,0

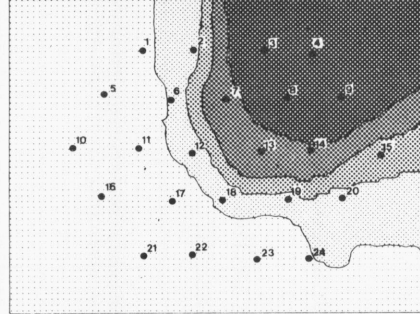
68.3



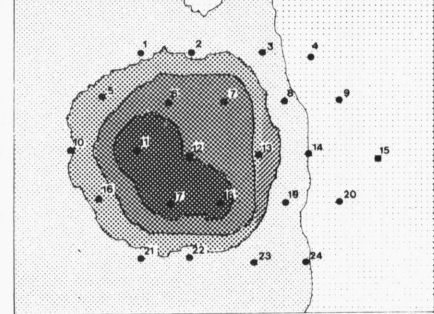
Modellrechnung 10; V: 1,0/1,0/1,0 E: 1,0/1,0/1,0



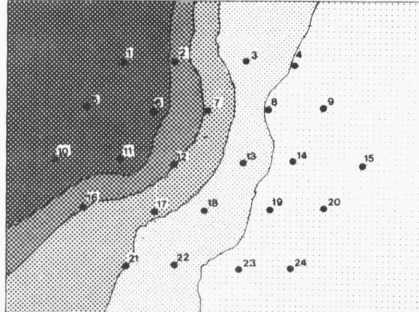
Modellrechnung 10; V: 1,0/1,0/1,0 E: 1,0/1,0/1,0



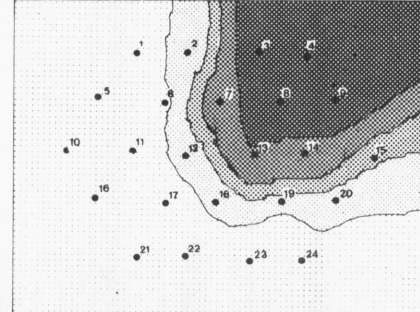
Modellrechnung 10; V: 1,0/1,0/1,0 E: 1,0/1,0/1,0



Modellrechnung 42; V: 5,0/2,5/1,0 E: 1,0/2,5/5,0

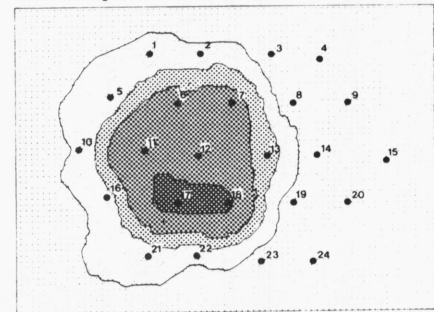


Modellrechnung 42; V: 5,0/2,5/1,0 E: 1,0/2,5/5,0



Modellrechnung 42; V: 5,0/2,5/1,0 E: 1,0/2,5/5,0

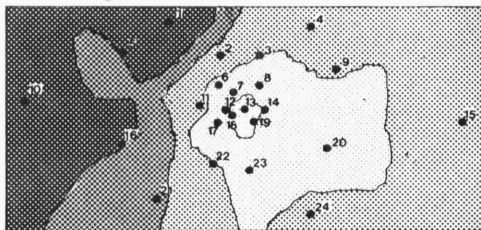
68.3



Verzerrung ; Quelle 5

Modellrechnung 43: V: 1,0/2,5/5,0 E: 5,0/2,5/1,0

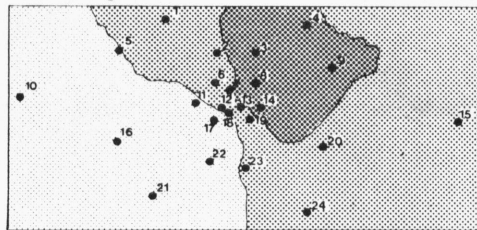
68.4



Verzerrung ; Quelle 8

Modellrechnung 43: V: 1,0/2,5/5,0 E: 5,0/2,5/1,0

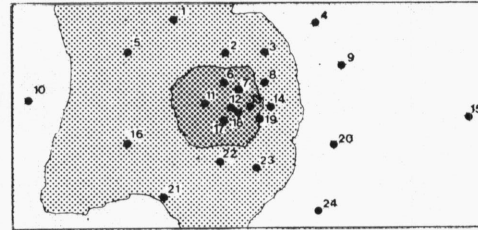
68.5



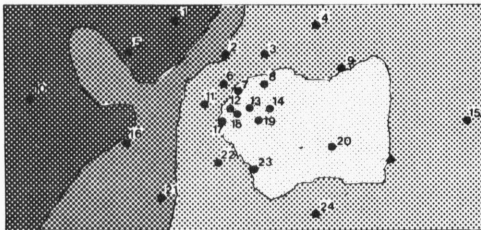
Verzerrung ; Quelle 12

Modellrechnung 43: V: 1,0/2,5/5,0 E: 5,0/2,5/1,0

68.6

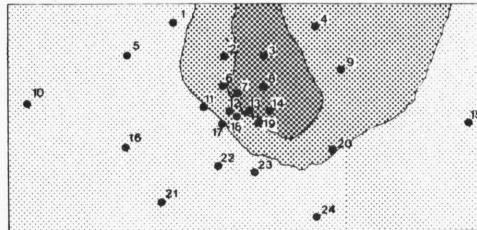


Modellrechnung 10: V: 1,0/1,0/1,0 E: 1,0/1,0/1,0

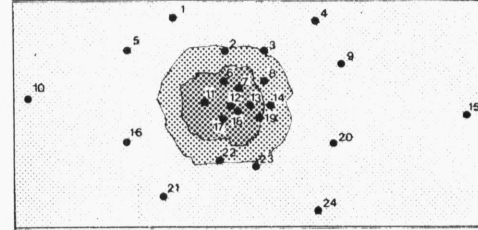


Modellrechnung 10: V: 1,0/1,0/1,0 E: 1,0/1,0/1,0

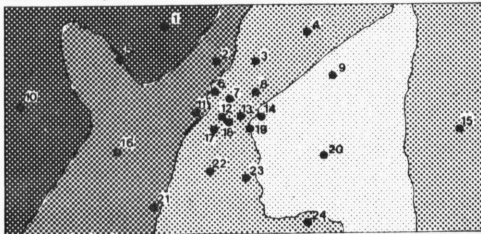
68.5



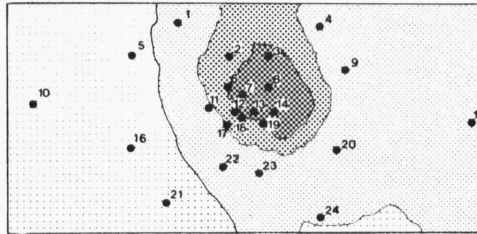
Modellrechnung 10: V: 1,0/1,0/1,0 E: 1,0/1,0/1,0



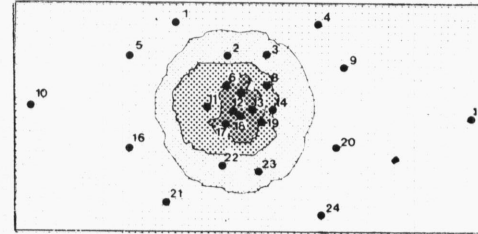
Modellrechnung 42: V: 5,0/2,5/1,0 E: 1,0/2,5/5,0



Modellrechnung 42: V: 5,0/2,5/1,0 E: 1,0/2,5/5,0



Modellrechnung 42: V: 5,0/2,5/1,0 E: 1,0/2,5/5,0



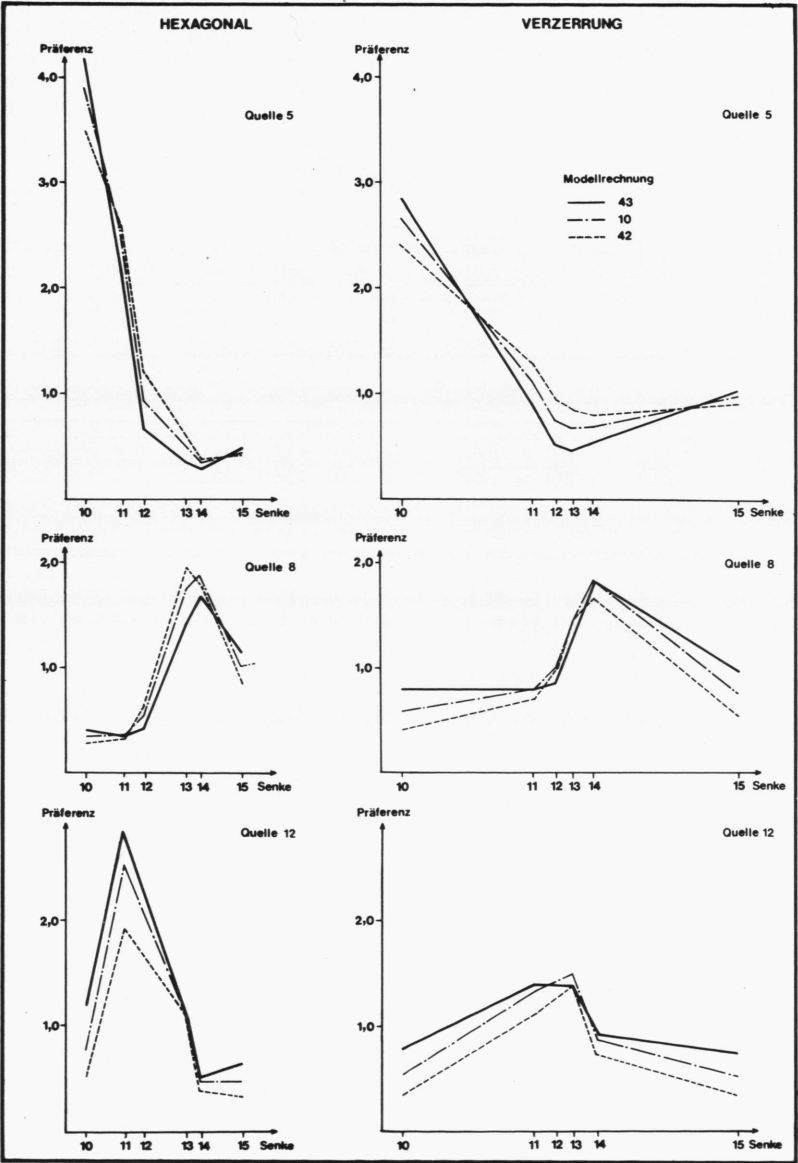
Stufen



Wert an der Quelle ist gewichtetes
arithm. Mittel der Nachbarwerte

Die in Abb. 69 angegebenen Profile verdeutlichen noch einmal die unterschiedlichen Auswirkungen der Aufkommensvariationen auf die regionalen Versandpräferenzverteilungen.

Abb. 69 Modellrechnungen 43, 10, 42 Stufe 3; ideale Punktmuster: Profile durch die Präferenzverteilung der Quellen 5, 8, 12 (Rand-Zentrum-Gegensatz)



Bei Quelle 5 ist - für die beiden Punktmuster in unterschiedlicher Stärke - auf den raschen Abfall vom benachbarten Rand zum Zentrum und die sich mit abnehmendem Rand-Zentrum-Gegensatz der Versandkonkurrenz abschwächende Erhöhung des Gegen-Randes hinzuweisen. Bei den sehr viel zentraler gelegenen Quellen 8 und 12 lassen sich die mit abnehmendem Rand-Zentrum-Gegensatz zunehmenden Asymmetrien - niedrige Präferenzen der Rand-Ziele - deutlich erkennen.

Tabelle 24

Räumliche Verteilung der Versandpräferenzen ausgewählter Quellen unter Modellrechnungen der Stufe 3 - Punktmuster Verzerrung -, beurteilt mit Hilfe der Parameter der Standard-Abweichungs-Ellipse

Modellrechn. Nr. (Tab. 16)	43			10			42		
Parameter der S.A.E.	F	ϵ	γ	F	ϵ	γ	F	ϵ	γ
Quelle									
5	64,02	0,85	-0,95	58,7	0,84	-1,07	53,1	0,83	-1,20
8	46,74	0,81	-1,59	39,3	0,79	-1,65	33,7	0,78	-1,77
12	39,12	0,81	-2,31	32,6	0,78	-2,38	28,4	0,77	-2,42

Vergleichs- Verteil.	einfaches Grav.Modell			Gleichverteilung		
Parameter der S.A.E.	F	ϵ	γ	F	ϵ	γ
Quelle						
5	40,82	0,77	-0,65	46,00	0,81	1,10
8	24,68	0,70	-1,11	48,99	0,82	-2,47
12	20,54	0,69	-2,03	49,26	0,82	-2,23

Parameter der S.A.E.: F: Fläche
 ϵ : Exzentrizität
 γ : Richtungswinkel

Auch die in Tab.24 zusammengestellten Parameter der Streuungs-ellipsen der Versandpräferenzverteilungen spiegeln die oben erklärten Veränderungen wider. Entsprechend der relativen Lage der Beispiele nehmen räumliche Streuung, Fläche und Exzentrizität von

Quelle 5 über Quelle 8 nach Quelle 12 ab, da der Schwerpunkt der jeweiligen Präferenzverteilung immer mehr in das Zentrum des Punktmusters rückt. Bei Betrachtung der Werte einer Quelle für den Übergang von Modellrechnung 43 nach 42 ist die Abnahme der räumlichen Streuung offensichtlich; sie bleibt aber immer noch größer als beim einfachen Gravitationsmodell. Anzeichen für noch weitergehende lokale Veränderungen stellen die stark schwankenden Werte des Richtungswinkels dar, auf die jedoch nicht weiter eingegangen werden soll.

Zum Abschluß der Untersuchungen der Präferenzstruktur sollen die in 4.1 aufgeführten Aussagen 1. bis 3. zur Entropieänderung der Variation der Aufkommensmengen anhand der Modellrechnungen belegt und die Verbindung zu den "Realen Teilverkehren" hergestellt werden.

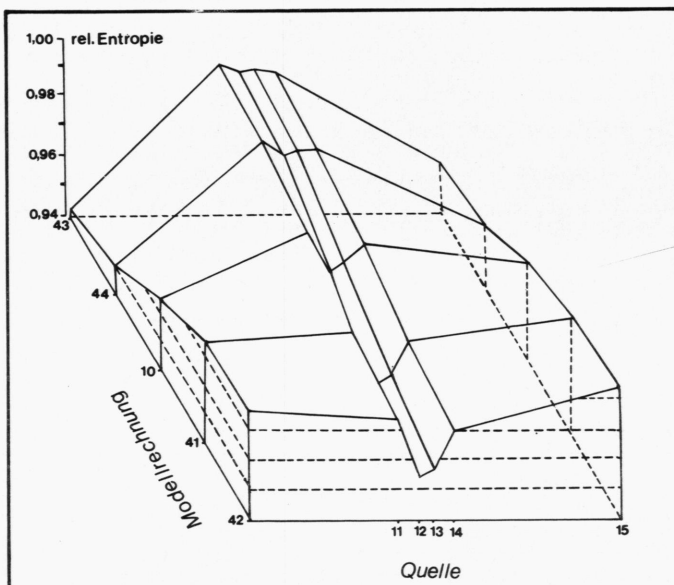
In Tab. 12 des TA sind für das Punktmuster Verzerrung die Entropien der Versandpräferenzen für die in 4.2.2 gereihten Modellrechnungen zusammen mit einigen statistischen Parametern aufgeführt. Es zeigt sich, daß die durchschnittliche Versandpräferenz-Entropie für alle Modellrechnungen etwa übereinstimmt. Jedoch deuten die Unterschiede in den Standardabweichungen auf stark differierende Verteilungsmuster. Betrachtet man hierzu die Entwicklung der Entropiewerte für die ausgeschiedenen räumlichen Gruppen, so läßt sich feststellen, daß mit (im Vergleich zum Gesamtsystem) wachsender Versandmenge die Entropiewerte der Verteilung der Versandpräferenzen wachsen.

Damit ist eine Übereinstimmung mit der ersten zu belegenden Aussage erzielt. Von Modellrechnung 43 über 10 zu 42 wachsen bspw. die Versandmengen des Randes im Vergleich zu denjenigen der übrigen zwei Gruppen und begleitend hierzu nehmen auch die Entropien der Versandpräferenzen für Randquellen zu.

Umgekehrt läßt sich zeigen, daß mit dem (relativen) Anwachsen der Versandmengen zentraler Quellen von 42 über 10 nach 43 ein Anwachsen der Entropie der Versandpräferenz-Verteilungen einhergeht.

Da die eben geschilderten Zunahmen gegenläufig sind, drückt sich die Abnahme des Rand-Zentrum-Gegensatzes der Versandkonkurrenz von 43 über 10 nach 42 auch in den Entropiewerten aus. Im Blockdiagramm (Abb. 70) sind die den fünf Haupt-Modellrechnungen entsprechenden Profilreihen eingearbeitet und man erkennt deutlich die Umkehrung des Verteilungsmusters, was die Gegenüberstellung von Entropiewerten des Randes und der Zentren betrifft. So liegen die Randwerte bei Modellrechnung 43 noch unter denen des Zentrums, wachsen aber bei Übergang zu 42 so stark bei gleichzeitigem Absinken der Entropiewerte der Zentren, daß sie diese bei 42 übertreffen, ohne allerdings die sehr hohen Werte der Zentralquellen von 43 erreichen zu können. Unterschiedlich ist die Entwicklung der Entropien für Quellen der ZL, die je nach relativer Lage derjenigen der Rand- oder Zentrumsquellen ähnelt. Zur Ausbildung der "Rinne" vergleiche man 2.8.

Abb. 70 Modellrechnungen auf Stufe 3; Punktmuster 'Verzerrung': Reihung der Profile durch die Verteilung der Entropie der Versandpräferenzen nach Modellrechnungen mit zunehmendem Versandkonkurrenz-Rand-Zentrum-Gegensatz



Kartographie E. Ardelean

Die durchgeführten Modellrechnungen eignen sich nicht zur Überprüfung der 2.Aussage, da die Variation der Aufkommensmengen für räumliche Gruppen, nicht für Einzelquellen durchgeführt wird und somit die direkte Vergleichbarkeit der Entropieveränderungen von Quellen verschiedenster relativer Lage erschwert ist. Statt dessen erweist es sich als vorteilhaft, die in 4.2.1 angestellten Vorüberlegungen fortzuführen.

In der 2.Aussage ist eine regional unterschiedliche Entropieveränderung je nach relativer Lage der lokalen Aufkommensvariation behauptet worden. Dies ergibt sich nach den obigen Ausführungen aus der Abhängigkeit der Entropie von den Ausgleichsfaktoren. So zieht eine lokale Erhöhung der Versandmenge einer Quelle bei Konstanz aller anderen Aufkommen eine höhere Versandkonkurrenz an den der Quelle benachbarten Senken nach sich. Hingegen vermindert sich die Versandkonkurrenz an weiter entfernt gelegenen Senken. Entsprechend sinken die B-Werte in der nächsten Nachbarschaft der Quelle, erhöhen sich in weiterer Entfernung.

Nimmt man die einfachen Verhältnisse der räumlichen Verteilung der Aufkommen von 4.2.1 an,

$$\begin{aligned} V_i &= 800 \quad \forall i, i \neq k & E_j &= 1000 \quad \forall j \\ V_k &= 5600 \end{aligned}$$

dann gilt für Quellen aus den unterschiedlichen räumlichen Gruppen:

Die extrem niedrigen Versandkonkurrenzen in der Nachbarschaft einer randlichen Quelle k werden durch die vergrößerte Aufkommensmenge erhöht, d.h. der Hauptgrund der niedrigen Entropie auf Stufe 2 wird beseitigt.

Hingegen kommt es bei Vergrößerung des Versands einer zentralen Quelle zu einer Erhöhung von schon bestehenden großen Versandkonkurrenzen an benachbarten Senken, die zwar auch die zur Ungleichverteilung führenden starken Nachbarschaftsverkehre abschwächen, nicht aber in dem Maße wie etwa bei einer randlichen Quelle.

Um diese Überlegungen zu veranschaulichen, werden die schon bekannten Beispielquellen 5, 8, 12 herangezogen und entsprechende Berechnungen für das Punktmuster Verzerrung durchgeführt. Die gewonnenen Entropiewerte werden nach Transformation [*, M 7.4] verglichen. Ergänzend können die Standardabweichungen der jeweili-

gen Verkehrsverteilungen betrachtet werden, die in ihren Veränderungen die Folgerungen bestätigen (vgl. Tab. 25).

Tabelle 25

Entropieveränderung bei lokaler Aufkommensvariation auf Stufe 3 in Abhängigkeit von der relativen Lage - Punktmuster Verzerrung -

Versand Quelle	E n t r o p i e			S t a n d a r d a b w e i c h .		
	1000	5600	Δ_t	1000	5600	Veränd. %
5	0,961	0,981	1,040	2,502	1,648	- 34,3
8	0,981	0,989	1,014	1,557	1,198	- 23,1
12	0,971	0,982	1,022	1,999	1,558	- 22,1

Δ_t : Quotient der transformierten Entropien (vgl. [*, M 7.4]).

Anzunehmen ist, daß die Veränderung einer Versandmenge über die Veränderung der Ausgleichsfaktoren Auswirkungen auf alle Versandverteilungen des Systems hat. Für den Fall, daß sich die Versandmenge der Quelle 5 erhöht, sind in Abb. 71 für alle Quellen die relativen Veränderungen der Entropien ihrer Versandpräferenzverteilungen dargestellt. Deutlich läßt sich erkennen, daß entsprechend der Veränderungen der Versandkonkurrenz im System Entropiezunahmen im Umkreis der Quelle 5 erfolgen, hingegen Abnahmen in weiterer Entfernung.

Bislang haben sich die Berechnungen auf das Punktmuster 'Verzerrung' bezogen. Um die 3. Aussage belegen zu können, muß auch das Punktmuster 'Hexagonal' herangezogen werden. Deduktiv folgt Aussage 3 aus der schon durch die Modellergebnisse gestützten 2. Aussage dadurch, daß die Umkehrung der exponentiellen Transformation, die ja als logarithmische Transformation die Rückwandlung des Punktmusters 'Verzerrung' in das Punktmuster 'Hexagonal' gestattet, als Lageveränderung angesehen wird. Denn wenn auch die relative Lage eines Punktes durch die Transformation nicht verändert wird, so ändert sich jedoch erheblich die Entfernungsverteilung in Durchschnitt und Streuung. In 2.8 wurde schon gezeigt, daß hieraus die geringeren Entropiewerte der Präferenzverteilung bei Benutzung des Punktmusters 'Hexagonal' resultieren. Für die Über-

Abb. 71 Modellrechnungen auf Stufe 3 ; Punktmuster 'Verzerrung' : Relative Veränderung der Versandentropie gegenüber Stufe 2, falls die Quelle 5 ihr Versandaufkommen erhöht, alle übrigen Quellen weiterhin gleich viel versenden, wobei der Gesamtversand im System jenem auf Stufe 2 entspricht

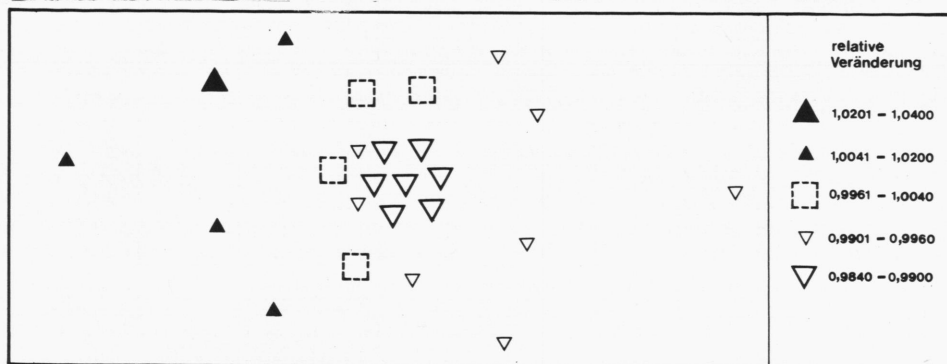
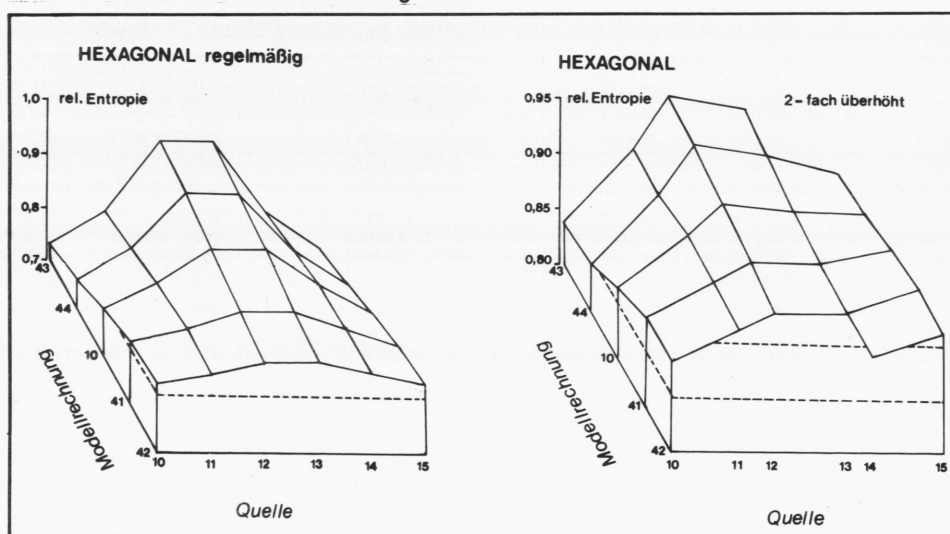


Abb. 72 Modellrechnungen auf Stufe 3 'Hex.' regelmäßig : Reihung der Profile durch die Verteilung der Entropie der Versandpräferenzen nach Modellrechnungen mit zunehmendem Versandkonkurrenz-Rand-Zentrum-Gegensatz



Kartographie E. Ardelean

legungen im Zusammenhang mit den Modellrechnungen ist zudem die gleichmäßigere Punktdichte und die damit verbundene Abmilderung des Effektes der räumlichen Konkurrenz von Wichtigkeit. So zeigt ein Vergleich der Spalten der Tab. 12 des TA, daß die Veränderungen der Entropiewerte zwar in beiden Fällen für die räumlichen Gruppen gleich verlaufen, im Ausmaß jedoch wesentlich gedämpfter

beim Punktmuster 'Hexagonal' auftreten. Dies wird an zwei Beispielen in Tab. 26 deutlich (vgl. Tab. 26).

Tabelle 26

Entropieveränderungen zweier Quellen unter Modellrechnungen der Stufe 3 im Vergleich der Punktmuster

Modellr. Nr. (Tab. 16)	Hexagonal			Verzerrung		
	43	42	Δ_t	43	42	Δ_t
Quelle						
10	0,743	0,909	0,760	0,867	0,968	0,831
12	0,957	0,819	1,278	0,986	0,840	1,305

Δ_t : Quotient aus den transformierten Entropien von 43 und 42.

Insbesondere bleiben bei 'Hexagonal' die Entropien der Versandpräferenz-Verteilungen von Randquellen bei allen Modellrechnungen unter denen der Zentren, was bei 'Verzerrung' nicht der Fall ist.

Die mehr oder weniger großen Abweichungen der Einzelwerte in Tab. 12 des TA von den bei Übergang von 43 über 10 nach 42 festgestellten gruppenspezifischen Entwicklungsleitlinien können den Unregelmäßigkeiten des hier verwandten Punktmusters zugeschrieben werden. Analog der Profilreihe für 'Verzerrung' sind in Abb. 72 die Profilreihen für 'Hexagonal' und das regelmäßige Hexagonalmuster dargestellt. Deutlich ist zu erkennen, daß durch Unregelmäßigkeiten im Punktmuster 'Hexagonal' nicht nur die Symmetrie der Verteilung verlorenggeht, sondern auch lokal Umkehrungen von der allgemeinen Verteilungstendenz auftreten können. So übertrifft beim Übergang von Modellrechnung 43 nach 42 der Entropiewert der Randquelle 15 denjenigen der ZL-Quelle 14. Auch weist das regelmäßige Muster eine wesentlich größere Differenzierung der Werte je Modellrechnung und Quelle auf.

Offen bleibt noch die Frage, wieweit das Konkurrenzmodell die den Aufkommensvariationen zugeordneten 'Reale-Welt-Situationen' nachzubilden vermag. Für jede dieser Situationen ist nach Definition und theoretischen Annahmen über die Verteilung potentieller Versender und Empfänger ein Teilverkehr besonders überragend. Sollte dieser Teilverkehr bei der Verkehrsverteilung des Modells ebenfalls

- verglichen mit den übrigen Modellrechnungen - überragend sein, so gilt die Nachbildung als gegeben.

Nachfolgend werden nach Punktmustern getrennt die Versandpräferenzen des Modells für jede Quelle nach räumlichen Gruppen zusammengefaßt. In einem zweiten Schritt werden - nach Modellrechnung und räumlicher Versendergruppe unterschieden - die durchschnittlichen Anteile der Präferenzen für die Beziehungen

- Rand - Rand (Δ 41)
- Rand - Zentrum (Δ 42)
- Zentrum - Rand (Δ 43)
- Zentrum - Zentrum (Δ 44)

ermittelt (vgl. Tab. 27).

Beim Vergleich der entsprechenden Werte für die beiden Punktmuster fallen die etwas geringeren Anteile der Empfangsgruppen Rand und Zentrum für 'Hexagonal' auf, was wiederum auf die gleichmäßigere Punktdichte zurückgeführt werden kann.

Tabelle 27

Ausgewählte Teilverkehre zur Überprüfung der Approximation der den auf Stufe 3 durchgeführten Modellrechnungen zugeordneten 'Reale-Welt-Situationen' - beide Punktmuster -

Modell- rechn. (Tab.16)	Versender- gruppe	H e x a g o n a l Empfängergruppe			V e r z e r r u n g Empfängergruppe		
		Rand	ZL	Zentr.	Rand	ZL	Zentr.
41	Rand	46,5	40,2	13,3	41,6	45,0	13,4
	Zentrum	24,8	50,5	24,8	26,9	52,7	20,4
42	Rand	45,0	40,7	14,3	40,6	45,6	13,8
	Zentrum	23,8	50,5	25,7	26,1	51,2	22,7
43	Rand	57,2	34,1	8,7	56,7	34,3	9,0
	Zentrum	34,8	46,7	18,5	34,2	47,0	18,8
44	Rand	55,6	35,1	9,3	46,7	43,6	9,7
	Zentrum	33,5	47,5	19,0	31,2	51,6	17,2

Nach Definition drücken die Präferenzen Intensitätsgrade der Beziehungen, gemessen an der VSM der Stufe 1 aus. Es ist daher nahe-
liegend, als Maß für die Stärke der ausgewählten Teilverkehre die
ermittelten Präferenzanteile (Tab. 27) zu setzen. Reiht man nun
für jeden Teilverkehr die Präferenzanteile nach Modellrechnungen,
erhält man Tab. 28:

Tabelle 28

Reihung der in Tab. 27 dargestellten Teilverkehre nach Modell-
rechnungen

Modellrechn. (Tab. 16)	T e i l v e r k e h r			
	Rand - Rand	Rand - Zentr.	Zentr. - Rand	Zentr. - Zentr.
41	3	2	3	2
42	4	1	4	1
43	1	4	1	4 (3)
44	2	3	2	3 (4)

() : Abweichungen bei Hexagonal

Eine genaue Abbildung der Wirklichkeit durch das Modell wäre dann
gegeben, wenn in Tab. 28 die Hauptdiagonalelemente 1 wären. Dies
ist aber nur bei (2,2) und (3,3) der Fall. Die Reihungen der 1.
und 3. Spalte bzw. 2. und 4. Spalte stimmen überein, so daß in den
Zeilen der in den Aufkommensvariationen entgegengesetzten Modell-
rechnungen 42 und 43 für alle Teilverkehre die höchste Intensität
erreicht wird. Damit ergibt sich:

1. Gegenüber dem einfachen Gravitationsmodell, welches
keine Veränderungen der Präferenzanteile der räum-
lichen Gruppen für die verschiedenen Aufkommensvaria-
tionen kennt, bietet das Konkurrenzmodell den Vorteil,
jene 'Reale-Welt-'Situationen' nachzubilden, deren
dominante Teilverkehre vom Rand zum Zentrum oder vom
Zentrum zum Rand führen.
2. Die Einbeziehung der räumlichen Konkurrenz in das
Modell mit der Folge der je nach Aufkommensverteilung
mehr oder weniger starken Attraktivität von Randsen-
ken und der entsprechend unattraktiven zentralen
Senken verhindert jedoch (bei Annahme eines einzigen
Typs der Entfernungsfunktion) die Nachbildung der den
Modellrechnungen 41 und 44 zugeordneten 'Reale-Welt-
Situationen'.

Sieht man einmal von den Möglichkeiten der Entlastung der Konkurrenzsituation des Zentrums durch Punktdichtevariationen sowie der stärkeren Betonung der ZL in den Aufkommensveränderungen ab, dann bleibt die Frage:

Kann das Modell durch Einbezug variabler Entfernungspereptionen wirklichkeitsgetreuer abbilden?

Man vergleiche hierzu die Untersuchungen in Abschnitt 4.3.3.3.

4.3 ERWEITERUNG DES KONKURRENZMODELLS DURCH REGIONALISIERUNG DER ENTFERNUNGSFUNKTION

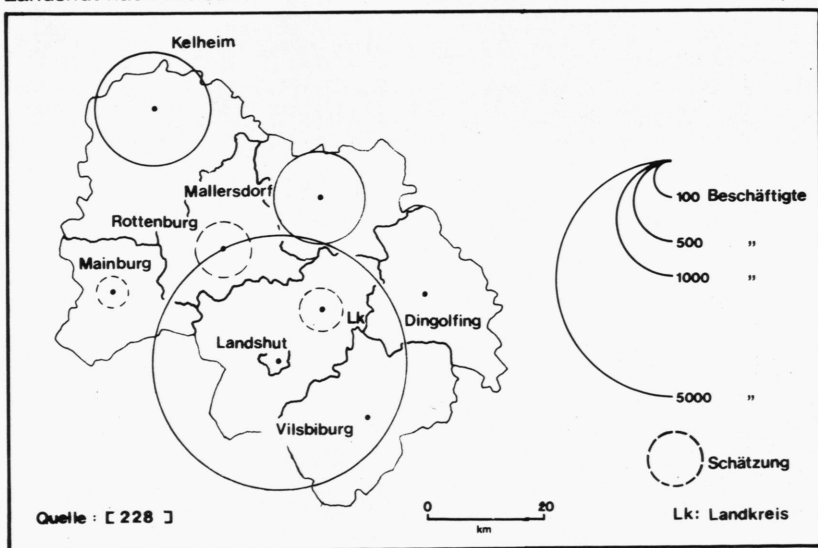
4.3.1 Ein Beispiel

Die räumliche Konkurrenz wurde bislang nur in Abhängigkeit von dem übergeordneten Punktmuster, der relativen Lage des zu betrachtenden Verkehrsschwerpunktes und der räumlichen Verteilung der Aufkommensmengen gesehen. Dagegen fehlt bislang der eigentlich wirtschaftliche Gesichtspunkt dieses Begriffes, die Auseinandersetzung mit Anbietern gleichartiger oder zu Substitution fähiger Produkte. Nun ist diese Untersuchung von ihrer ganzen Anlage her bewußt abgesetzt von den wirtschaftswissenschaftlichen Versuchen der Erklärung der Verkehrsverteilung mit Hilfe von Input-Output-Analysen oder andersgearteter expliziter Berücksichtigung gesamtwirtschaftlicher Interdependenzen (vgl. Leontief; [150], Becker; [17], Kau; [134], etc.), gleichwohl auch dort das regionale Moment stark beachtet wird. Auch weiterhin sollen hier eigenständige, allein auf der räumlichen Verteilung von relevanten Kenngrößen basierende Ansätze zur Theorie einer Verkehrsverteilung angestrebt werden, wobei zukünftige Synthesen der verschiedenen Wege wünschenswert erscheinen. Dennoch hat zunächst die Verknüpfung mit schon bestehenden geographischen Theorien Vorrang.

Es ist deshalb erklärlich, daß die sicherlich bestehenden wirtschaftlichen Konkurrenzen nicht explizit im Modell eingefangen werden, sondern lediglich in ihrer Auswirkung auf das Interaktionsverhalten der in den Verkehrsschwerpunkten ansässigen Versender berücksichtigt werden. Hierzu zwingt auch die lückenhafte Information, die in der verfügbaren räumlichen Feingliederung der Verkehrsverteilungsstatistiken nicht zu beschaffen sein dürfte. Des weiteren sind die Absatzgebiete für die meisten Güter keinesfalls räumlich so abgeschlossen, wie es etwa die Theorie der zentralen Orte für Konsumgüter und Dienstleistungen annehmen kann (Lloyd/Dicken; [154], Berry; [19]). Hierzu ein Beispiel aus dem Bereich des Verkehrs mit elektrotechnischen Erzeugnissen, an dem nochmals in Kapitel 5 das Modell erprobt wird.

Für den Verkehrsbezirk Landshut werden alle im Jahre 1970 ansässigen, der Elektrotechnischen Industrie zugerechneten Betriebe hinsichtlich ihrer Produktionsstruktur und ihres potentiellen Absatzmarktes betrachtet. Die Beschäftigten nach Kreisen weist Abb. 73 aus, wobei die Konzentration in der Stadt Landshut zu beachten ist.

Abb. 73 Beschäftigte in der Elektrotechnischen Industrie 1970 im VB 16 Landshut nach Kreisen



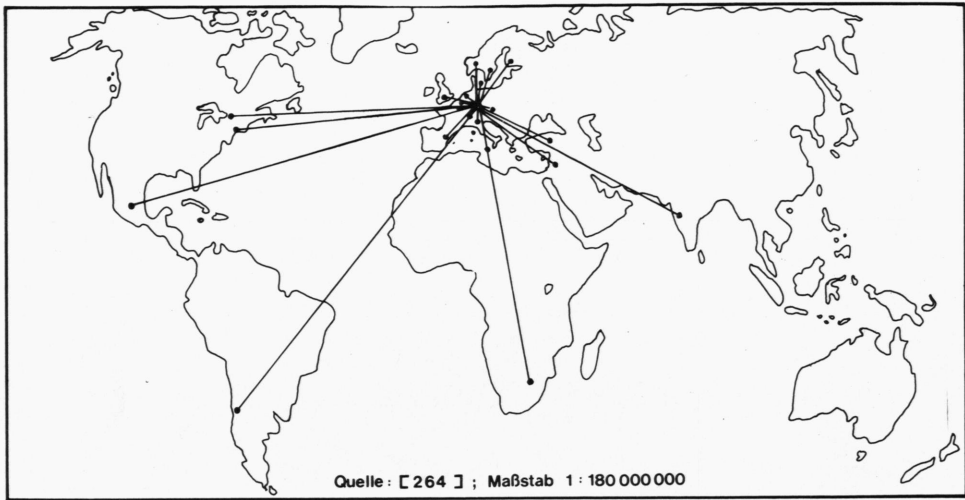
Von den 19 Betrieben konnten 16 hinsichtlich ihrer Produktionsstruktur durch Angaben aus dem einschlägigen Adreßbuch [264] charakterisiert werden. Danach handelt es sich um Betriebe, die, mit einer bedeutenden Ausnahme Investitionsgüter (Elektromotoren, Elektrotransformatoren, Starkstromkondensatoren, Bauelemente der Fernmelde- und Hochfrequenztechnik, Elektrische Meßgeräte, Elektrische Regel- und Steuerungseinrichtungen) herstellen. Bei der Ausnahme handelt es sich um das Teilwerk eines Konzerns, welches neben Investitions- auch Konsumgüter herstellt. In nur zwei Fällen sind Überlappungen des Produktionsspektrums festzustellen, so daß die ausgewählten und hochspezialisierten Firmen sich kaum (wirtschaftliche) Konkurrenz machen. Deshalb ist es zulässig, ihre potentiellen Absatzmärkte getrennt zu betrachten. Zu diesem Zweck sind die Betriebe wie folgt charakterisiert worden:

Gruppe	Absatzgebiet	Abnehmer
1	Weltweiter Absatz	Elektroindustrie
2	BRD / Europa	Textilindustrie/ Papiermaschinenhersteller
3	Regional / Süddeutschl.	Elektroindustrie/ -handel
4	Regional / Lokal	Stammwerk

Damit offenbart sich eine völlig unterschiedliche Wahrnehmung potentieller Ziele, wie an zwei Beispielen belegt werden soll.

In Abb. 74.1 ist das Auslands-Vertretungsnetz eines in Landshut ansässigen Betriebes dargestellt, welcher sich auf die Herstellung bestimmter Kondensatoren spezialisiert hat und in Süddeutschland, vor allem im Gebiet der VB Landshut und Konstanz, Zweigbetriebe führt, von denen einige in Gruppe 4 zu finden sind. Die Auslandsvertretungen weisen Schwerpunkte in Mittel- und Westeuropa auf. Ergänzend kommen Kontinentvertretungen in ausgewählten Ansatzpunkten hinzu.

Abb. 74.1 Auslandsvertretungen eines in Landshut ansässigen Herstellers von Spezialkondensatoren

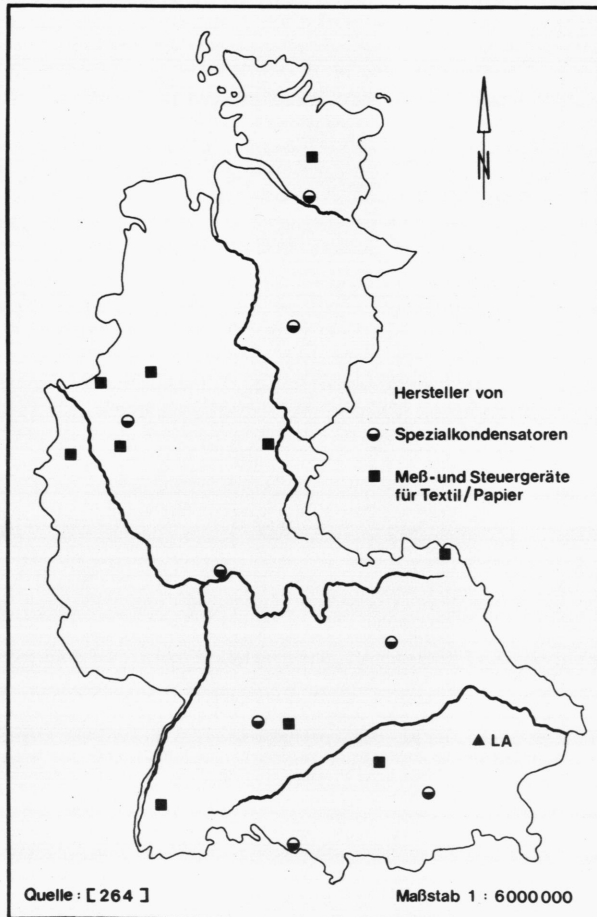


Kartographie E. Ardelean

Betrachtet man die Verteilung der Inlandsvertretungen und vergleicht sie mit den Inlandsvertretungen jenes Betriebes, der Gruppe 2 repräsentiert, so wird deutlich, welche räumlichen Differenzierungen in der Kundenwerbung und -betreuung allein durch den Spezialisierungsgrad bedingt sind: Einerseits die flächendeckende Streuung der Niederlassungen über die gesamte BRD unter Anbindung an wirtschaftliche Zentren, andererseits das Bemühen, aufgrund der weitergehenden Spezialisierung die Nähe zum potentiellen Kunden zu suchen, wodurch sich je nach Kundenverteilung Streuung und Klumpung der Niederlassungen ergeben (vgl. Abb. 74.2).

Soweit die Betrachtung der Gesamtwahrnehmung potentieller Ziele. Schränkt man die Untersuchung auf Süddeutschland ein, dann ergeben sich z.T. differenziertere Aussagen. Von 7 der 19 Betriebe konnte die prozentuale - nicht gewichtsmäßige - Verteilung ihres Gesamtversands (Wagenladungen, Stück- und Sammelgut einschl. Binnenverkehr) in Erfahrung gebracht werden. Bei einem Betrieb handelt es sich um ein Teilwerk des eben besprochenen Kondensatorherstellers,

Abb. 74.2 Inlandsvertretungen zweier im VB 16 Landshut ansässigen elektrotechnischen Betriebe



Kartographie E. Ardelean

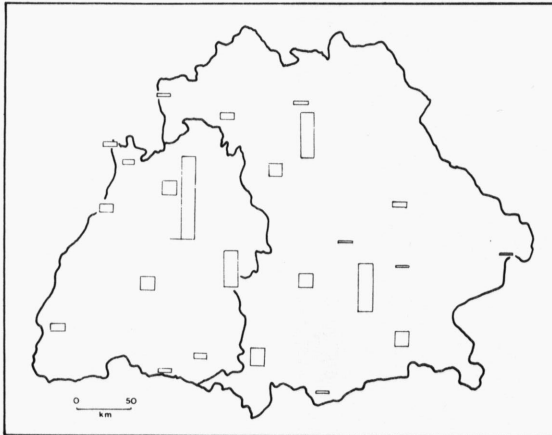
welcher 99% seines Verkehrs mit dem Stammwerk abwickelt. Die übrigen 6 Verkehrsverteilungen sind in Abb. 75 dargestellt.

In der vorgenommenen Reihung der Abbildungen ist neben der Zunahme der Ungleichverteilung und räumlichen Selektivität der Zielauswahl auch eine Einengung des Absatzgebietes zu beobachten. In Abb. 75.1 ist ein Vertreter der Gruppe 3 in seiner Verkehrsverteilung dargestellt; neben Schwerpunkten der Elektroindustrie sind auch Bevölkerungskonzentrationen für die Zielauswahl bestimmend. Abb. 75.2 zeigt den Versand eines Teilwerks des Kondensatoren-

Abb. 75 Relative Versandverteilung (Angaben in % des jeweiligen Gesamtversands) innerhalb Süddeutschlands von Betrieben der Elektrotechnischen Industrie mit Sitz in VB 16 Landshut - eigene Erhebungen

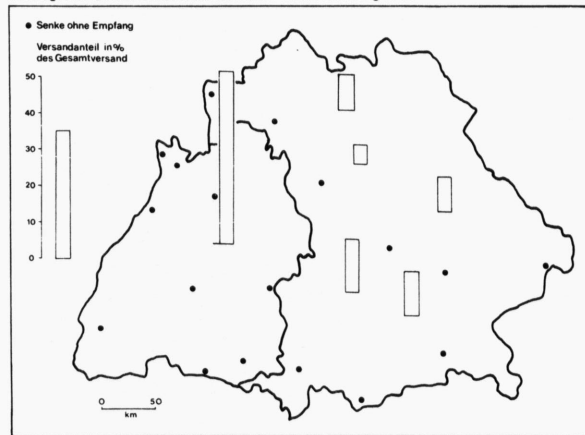
Absatzgebiet: Süddeutschland: vollständig Zielauswahl

Abb. 75.1



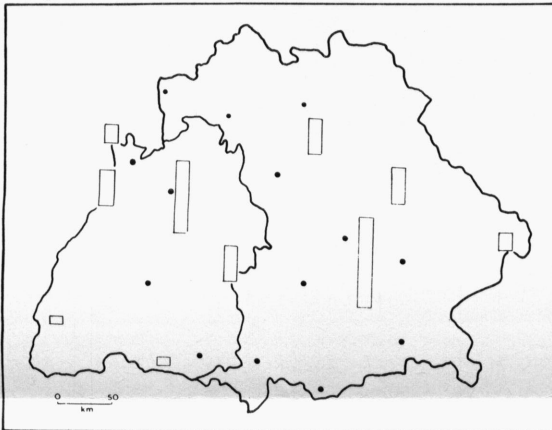
Absatzgebiet: Süddeutschland: Konzentration in BW; Streuung in BY

75.3



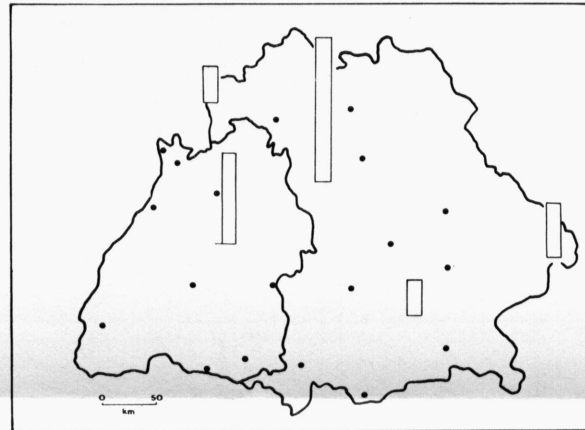
Absatzgebiet: Süddeutschland: selektive Zielauswahl

Abb. 75.2



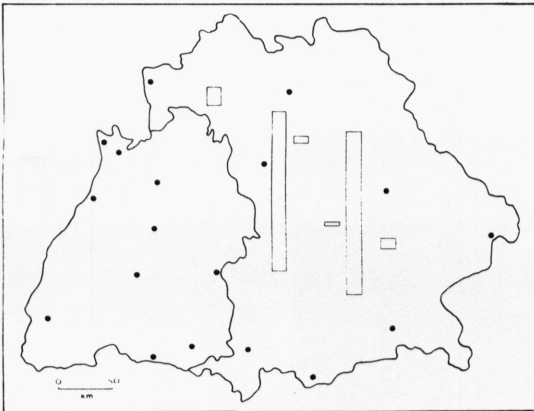
Montage- und Installationsbetrieb

75.4



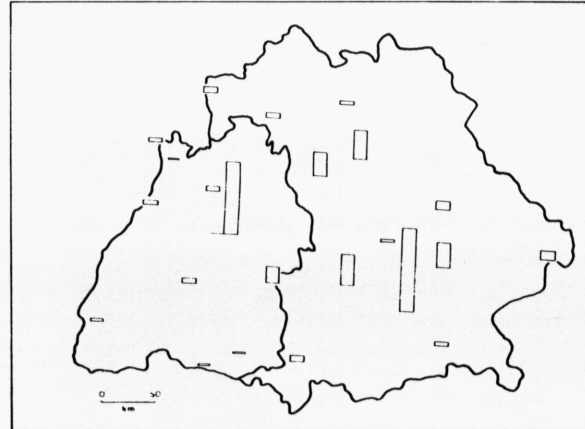
Absatzgebiet: Bayern: selektive Zielauswahl

Abb. 75.5



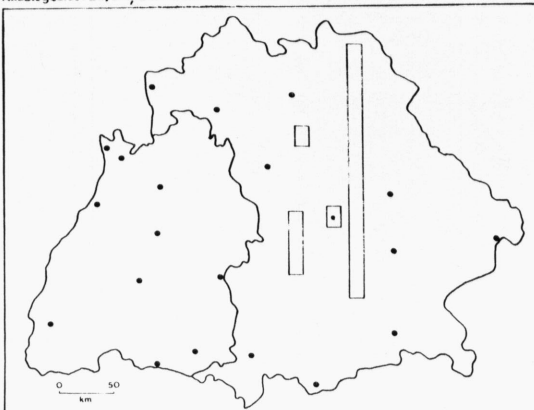
Zusammengesetzte Versandverteilung: untersuchte Betriebe VB 16

75.7



Absatzgebiet: Bayern: Stammwerk in München

Abb. 75.6



herstellers - Gesamtangaben waren nicht erhältlich -, wobei von den 24 potentiellen Zielen nurmehr 10 angesteuert werden. In Abb. 75.3 ist der die Gruppe 2 repräsentierende Betrieb mit seiner Verkehrsverteilung innerhalb Süddeutschlands wiedergegeben. Nur ein Viertel aller möglichen Ziele werden bedient, wobei in Baden-Württemberg ein zentrales Auslieferungslager für eine Konzentration des Verkehrs sorgt.

Abb. 75.4 bildet insofern eine Ausnahme, als hier die Verkehrsverteilung eines Betriebes erfaßt wurde, der die Installation und Montage elektrotechnischer Anlagen betreibt.

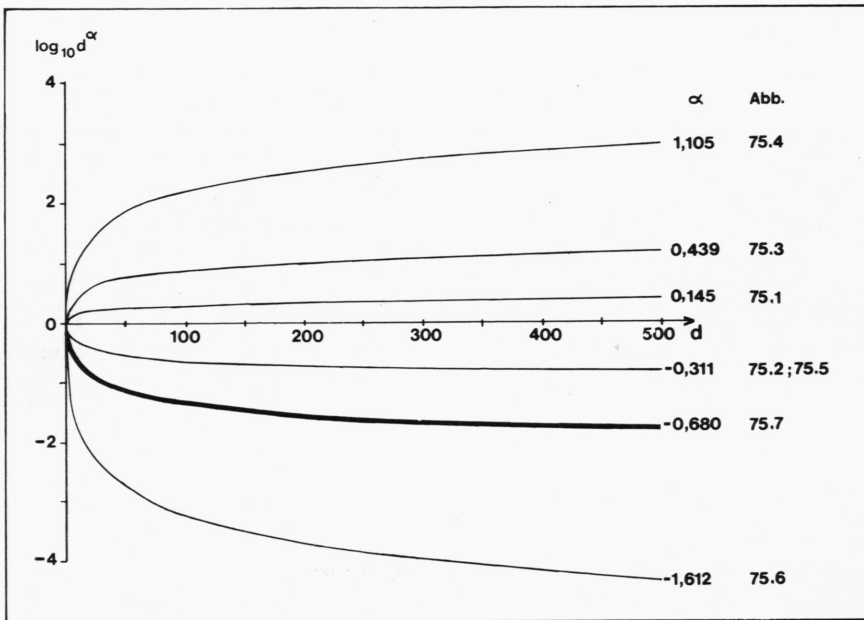
In den letzten beiden Abbildungen sind Vertreter der Gruppe 4 dargestellt, deren Zielauswahl sich nur auf Bayern beschränkt. Während das Stammwerk des in Abb. 75.5 durch seine Verkehrsverteilung repräsentierten Betriebes in Bensberg (NRW) zu finden ist, hier also nur für einen Teilmarkt produziert wird, bestehen für den in Abb. 75.6 charakterisierten Betrieb intensive Verkehrsbeziehungen mit dem in München ansässigen Stammwerk.

Da keine gewichtsmäßigen Angaben über den jeweiligen Versand der Einzelbetriebe innerhalb Süddeutschlands vorliegen, konnte nur eine aufgrund der Beschäftigten in Verbindung mit den entsprechenden Produktivitätsfaktoren ermittelte Schätzung des Gesamtversands dieser Auswahl in Abb. 75.7 angegeben werden. Deutlich ragen die Schwerpunkte der Elektroindustrie in Süddeutschland - mit Ausnahme von Nürnberg - heraus; daneben ist auch die Bevorzugung mittel- und südbayerischer Ziele zu erkennen.

Wie gehen nun diese regionalen Differenzierungen der einzelbetrieblichen Zielauswahl in das Modell ein? Spezifisch für einen Verkehrsschwerpunkt ist nur seine relative Lage, denn Aufkommensverteilung und räumliche Konkurrenz beschreiben Verhältnisse im Gesamtraum bzw. gleichen solche auf lokaler Ebene aus. Also sollten sich in der lokalen Aufwandseinschätzung der Einzel-VB ihre Eigenarten niederschlagen. Hierzu sind die Entfernungsfunktionen der Einzelverteilungen zu bestimmen. Da keine Angaben über den Gesamt-empfang (Wagenladung, Stück- und Sammelgut) erhältlich sind, werden die Exponenten der Entfernungsfunktion der Einzelverteilungen

unter der Annahme bestimmt, daß die Empfangsmengenverteilung im Gesamtgebiet ähnlich der des bekannten Wagenladungsverkehrs der GGR 931 aufgebaut ist.

Abb. 76 Entfernungsfunktion der Einzel- und der zusammengesetzten Versandverteilung von Einzelbetrieben des VB 16 Landshut



Kartographie E. Ardelean

In Abb. 76 sind die ermittelten Entfernungsfunktionen dargestellt. In einem einzigen VB ergibt sich eine erstaunliche Bandbreite. Diese Bandbreite wird durch jene Kurve repräsentiert, die der in Abb. 75.7 angegebenen Schätzung der Gesamtverkehrsverteilung entspricht. Man sieht, daß die Beeinflussung des Nachbarschaftsverkehrs ganz erheblich ist, obwohl 3 der 7 Verkehrsverteilungen Aufwandseinschätzungen aufweisen, die mit zunehmender Entfernung geringeren Aufwand postulieren.

Aber die Aggregation geht noch weiter. Entsprechend der Modell-Information ist ja nur der Aufwand im Gesamtsystem bekannt, so daß nicht jener eben ermittelte Exponent, der ja selbst schon Mittelwert aus 7 ganz unterschiedlichen Werten ist, zur Bestimmung der Verkehrsverteilung des VB Landshut herangezogen wird, sondern der aus dem bekannten Gesamtaufwand des Systems errechnete, welcher für das Gesamtsystem gilt.

Dies ist der Ansatzpunkt, von dem aus die Modellerweiterung vorgenommen werden soll:

Gezeigt wurde, daß die Entfernungsfunktion eines einzelnen VB eine Fülle von regionalen Einzelmomenten repräsentiert, die aus den verfügbaren statistischen Daten nicht mehr rückentschlüsselt werden können.

Da aber eine Betrachtung auf Mikroebene, wie eben in Ansätzen durchgeführt, nur in Einzelfällen möglich ist, gilt es wiederum, die (gegenüber Stufe 3) zu erweiternde Information optimal zu nutzen.

Dies wird dadurch erreicht, daß die übergeordnete Modellhypothese beibehalten wird, nun aber ihre Erfüllung durch Regionalisierung der 3.Nebenbedingung angestrebt wird.

Somit erhält jede Quelle ihren individuellen Entfernungsexponenten zugeordnet, mit dem eine bestmögliche Approximation der tatsächlichen Entfernungsfunktion(en) unter Verwendung des aus der Modellhypothese begründeten Funktionstyps erzielt werden soll.

4.3.2 Erweitertes räumliches Konkurrenzmodell

Die in 1.3 dargestellte Wilson'sche Erweiterung des Gravitationsmodells, von dem als Spezialfall das räumliche Konkurrenzmodell abgeleitet wurde, erfährt nun folgende Veränderung:

Gegeben sind	die Versandmengen	V_1, \dots, V_n
	die Empfangsmengen	E_1, \dots, E_n
	die <u>regionalen</u>	
	Aufwandsgrößen	C_1, \dots, C_n
Gesucht wird	$T_{ij}: i \rightarrow j$;	Verkehr von Quelle i nach Senke j

Nebenbedingungen	$\sum_{j=1}^n T_{ij} = V_i$	$\sum_{i=1}^n T_{ij} = E_j$
	(23) $\sum_{j=1}^n T_{ij} d_{ij} = C_j$	

Mit Hilfe der erweiterten Informationsmenge ist man in der Lage, unter Beibehaltung der Modellhypothese regional differenzierte (Versand-)Entfernungsfunktionen zu berechnen, so daß sich das räumliche Konkurrenzmodell wie folgt darstellt:

$$(24) \quad T_{ij} = A_i B_j V_i E_j d_{ij}^{-\alpha_i}$$

$$\text{mit } (25) \quad A_i = \frac{1}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n E_k d_{ik}^{-\alpha_i}}$$

$$(26) \quad B_j = \frac{1}{\sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^n \frac{V_l d_{lj}^{-\alpha_l}}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq l}}^n E_k d_{lk}^{-\alpha_l}}}$$

Es wird an dieser Stelle ausdrücklich auf eine Anmerkung Wilson's verwiesen, die die Mathematik für eine noch weitergehende Erweiterung beinhaltet [256, pp.17-18], jedoch keine weiteren Aussagen über die Auswirkungen auf die räumliche Verkehrsverteilung des Modells. Aber gerade hier muß der Geograph ansetzen und die Frage nach Nutzen und Wirkung der Erweiterung für eine kleinräumig differenzierte Verkehrsverteilung stellen.

Träger der regional differenzierten Widerstandsfunktion im Konkurrenzmodell sind die Ausgleichsfaktoren der räumlichen Konkurrenz. Damit ist es nur folgerichtig, an den Beginn der Untersuchungen die Auswirkungen der regional differenzierten Exponenten auf die räumliche Konkurrenz festzustellen. Hierbei wird wie in 4.2 der Weg der lokalen Veränderung der Entfernungsfunktion beschritten, um zu Aussagen über Punkte gleicher relativer Lage zu gelangen.

Bietet sich dieses Vorgehen auch im Anwendungsfall an? D.h. sind die lokalen Einzelstrategien getrennt zu ermitteln und dann additiv zur Nachbildung der Wirklichkeit zusammensetzbar? Diese Frage stellt sich angesichts eines erheblich gesteigerten Rechenaufwands. Zu

ihrer Beantwortung muß der Einfluß des Punktmusters auf die Werte der lokalen Exponenten betrachtet werden. Erweist sich dieser als nicht vernachlässigbar, dann fragt es sich, wie Ergebnisse der Modellanwendung bei Untersuchung räumlich getrennter Gebiete miteinander verglichen werden können. In diesem Zusammenhang wird ein Vergleich der Stufen 3 und 5 im Blickpunkt des Interesses stehen.

4.3.3 Ausgewählte lokale Verkehrsverteilungen auf Stufe 4 der Modellentwicklung

Geht man von Stufe 2 aus, so bedeutet ein gemeinsamer Exponent im Untersuchungsgebiet, daß die in den Quellen ansässigen Versender allesamt bei ihren Absatzüberlegungen die Transportkosten (oder allgemeiner: den Aufwand) im Auge haben, so wie sie bei Tarifgleichheit im Raum bekannt sind. Nimmt man nun an, daß sich die an einer Quelle ansässigen Versender spezialisieren, dann rückt für sie viel stärker der Gesamttraum als Absatzmarkt ins Blickfeld, so daß die Transportkosten an Bedeutung verlieren. Im Extremfall nimmt sogar der Aufwand wegen des erwarteten größeren Absatzes mit wachsender Entfernung ab. Diesem geschilderten Fall entspräche ein Exponent, der für diese Quelle kleiner ist als der auf Stufe 2 angesetzte gemeinsame Exponent 1.0.¹

Sind andererseits die in einer Quelle vertretenen Versender darauf aus, ihre Lagevorteile auszunutzen und in ihrer Umgebung marktbeherrschend zu sein, dann wird dies im Modell dergestalt nachgebildet, daß der Aufwand mit wachsender Entfernung noch stärker steigt als auf Stufe 2 allgemein angenommen. Die in dieser Quelle ansässigen Versender nehmen entfernt gelegene Senken als potentielle Empfänger in viel geringerem Maße wahr als es etwa durch die an anderen Quellen ansässigen Versender geschieht.

1 Man beachte die Form der Entfernungsfunktion: $f(d) = d^{-\alpha}$.

Würde man diese unterschiedlichen Verhaltensweisen im Modell durch Vorgabe entsprechender Aufwandswerte C_i ausdrücken, bestünde im Falle der Modellrechnungen das Problem, zuerst die Verkehrsverteilungsmatrix zu konstruieren und dann den (die) Exponenten zu bestimmen. Die a-priori-Festlegung der Verkehrsverteilung kann aber dadurch umgangen werden, daß man sie implizit umschreibt (vgl. 4.1) und so Verkehrsverteilungsmatrix und lokalen Exponenten gleichzeitig bestimmt:

Die Versender der Quelle i verfolgen das Ziel,
in den k nächstgelegenen Senken genauso viel
abzusetzen wie in den $n-k$ entferntesten gelegenen.

Entsprechend der in früheren Kapiteln getroffenen Auswahl wird vor allem Quelle 5 neben 8 und 12 wieder näher betrachtet, wobei für die Verteilungsstrategie k die Werte 5, 11 und 17 eingesetzt werden. Man beachte, daß diese Verkehrsverteilung sehr stark von der jeweiligen Lage der untersuchten Quelle abhängt: diese entscheidet über die zu bevorzugenden Ziele.

4.3.3.1 Beeinflussung der räumlichen Verkehrsverteilung

Schert eine Quelle in ihrer Aufwandseinschätzung aus dem Systemverband aus, hat dies nachhaltige Auswirkungen auf die räumliche Konkurrenz im Gesamtgebiet. So ist eine Geringschätzung des Aufwands mit zunehmender Entfernung (oben beschriebener Fall der Spezialisierung) gleichbedeutend mit einem Verzicht der in dieser Quelle ansässigen Versender auf Absatzanteile in benachbarten Senken und einem Anspruch auf zusätzliche Absatzanteile in entfernt liegenden Senken. Dies bedeutet wiederum, daß die räumliche Versandkonkurrenz in der Umgebung dieser Quelle gegenüber Stufe 2 sinkt, hingegen in weiterer Entfernung ansteigt. Die unmittelbare Folge ist ein Anstieg der B-Werte für die Nachbarsenken als Ausdruck ihrer gestiegenen Attraktivität aufgrund des Verzichts besagter Quelle und ein Abfallen dieser Werte für entfernt gelegene Senken, die entsprechend den gestiegenen Absatzwünschen der Quelle

unattraktiv werden.

Ein entgegengesetztes Verhalten des Modells ist für den Fall der versuchten Marktbeherrschung einer Quelle in ihrem Nahbereich zu erwarten. Jetzt möchte diese Quelle ihre Marktanteile in den umliegenden Senken steigern, verzichtet dagegen auf solche in entfernter gelegenen, wie sie etwa auf Stufe 2 ermittelt wurden. Es erniedrigen sich demzufolge die B-Werte der Senken im Nahbereich, da dort besagte Quelle verstärkt mit anderen Versendern konkurriert. Andererseits werden die entfernt gelegenen Senken zunehmend attraktiv, da betrachtete Quelle als Mitbewerber um Absatzanteile nicht mehr so stark ins Gewicht fällt: es steigen die B-Werte an.

Man beachte, daß sich die beschriebenen Konkurrenzveränderungen immer nur aus Lageverhältnissen herleiten. Insofern ist auch zu erwarten, daß die Variationen der B-Werte je nach relativer Lage der betrachteten Quelle mit veränderter Verkehrsverteilung unterschiedlich sein werden [*, M 3.3].

Um die vorausgegangenen Überlegungen zu veranschaulichen, sei für das Punktmuster 'Hexagonal' die Randquelle 5 betrachtet. Nimmt man an, daß die in ihr ansässigen Versender eine Verkehrsverteilung anstreben, den 17 nächstgelegenen Senken insgesamt genauso viel zukommen zu lassen wie den 6 entferntest gelegenen ($k=17$), so erhält man unter der für das Konkurrenzmodell gültigen Modellhypothese einen Exponenten von $\alpha_5 = -1,18$. Während alle anderen Quellen die auf Stufe 5 angenommene Entfernungsfunktion mit $\alpha = 1,0$ in Betracht ziehen, ergibt sich für Quelle 5 eine Entfernungsfunktion, deren Werte mit zunehmender Entfernung wachsen.

Die dadurch bedingten Veränderungen in der Versandkonkurrenzsituation des Gesamtsystems gegenüber Stufe 2 kommen in der Abb. 77 zum Ausdruck, in der die (hierzu reziproken) Veränderungen der B-Werte dargestellt sind. Der Attraktivitätsgewinn der um Quelle 5 gelegenen Senken flacht mit zunehmender Entfernung von Quelle 5 ab, um in einen zum Gegenrand hin ansteigenden Attraktivitätsverlust umzuschlagen. Dadurch wird die in Stufe 2 festgestellte Symmetrie der Verteilung der B-Werte erheblich gestört.

Abb. 77 Modellrechnungen Stufe 4; 'Hexagonal': Veränderung der B-Werte gegenüber Stufe 2, falls Quelle 5 die Verteilungsstrategie k=17 wählt

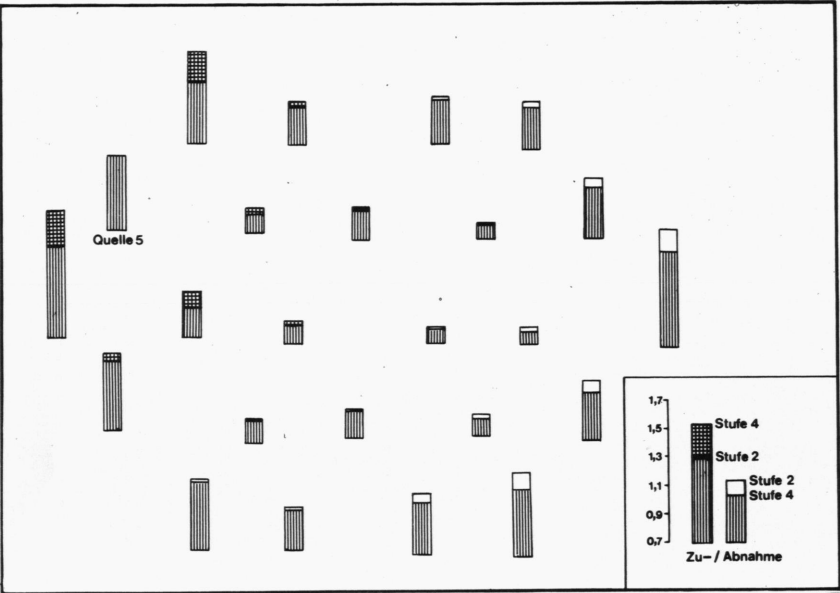
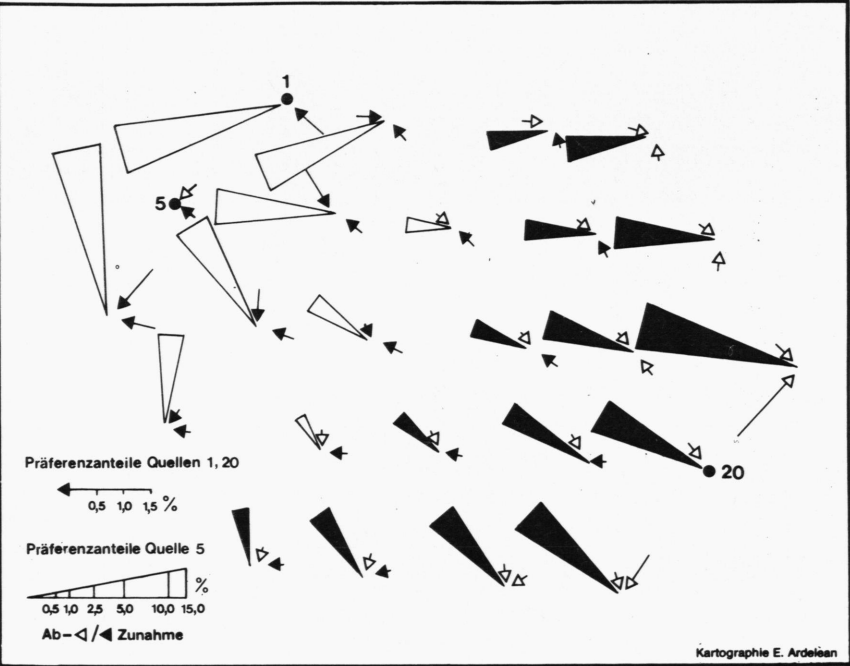


Abb. 78 Modellrechnungen Stufe 4; 'Hexagonal': Veränderung der Prozentanteile an Präferenzen der Quellen 1, 5, 20 gegenüber Stufe 2, falls Quelle 5 die Versandstrategie k = 17 wählt



Als Folge der Veränderungen der räumlichen Konkurrenz ergeben sich im Vergleich zu Stufe 2 Gewichtsverschiebungen in den Präferenzverteilungen der Quellen, die für Quelle 5 einer Umkehrung gleichkommen, für andere Quellen je nach Lage zur Quelle 5 jedoch kaum zu Umorientierungen führen (Abb. 78). Begleitend zu den Veränderungen der Präferenzverteilung der Quelle 5 sind jene der Quellen 1 und 20 dargestellt. Quelle 1 in unmittelbarer Nachbarschaft der sich in ihrem Versenderverhalten ändernden Quelle 5 versendet relativ mehr Präferenzanteile an Senken mit gegenüber Stufe 2 gestiegenem B-Wert, hingegen weniger an solche, deren B-Wert gesunken ist. Dies ergibt - wenn auch in weit geringerem Umfang - eine Veränderung, die jener der Quelle 5 entgegengesetzt ist.

Quelle 20 ist deshalb dargestellt, weil sie jener Senke benachbart ist, deren Versandkonkurrenz durch die Veränderung der Aufwands-einschätzung der Quelle 5 den stärksten Anstieg erfahren hat. Durch die damit verbundene Unattraktivität sinkt der relative Präferenzanteil, welcher dieser Senke von Quelle 20 zugeteilt wird. Dieser recht große Verlust an Absatzanteilen wird durch einen Zuwachs an Anteilen in mehr Senken als bei Quelle 1 wettgemacht. Auch hier ist die allgemeine Richtungsumorientierung jener der Quelle 5 entgegengesetzt.

Verlegt man die sich spezialisierende Quelle vom Rand über die Zwischenlage in das Zentrum, etwa Quelle 12, so nimmt die Asymmetrie der sich verändernden Konkurrenzsituation ab. Die Auswirkungen der Spezialisierung von Quelle 12 auf das Gesamtsystem kämen einer Abnahme des Rand-Zentrum-Konkurrenzgegensatzes gleich, da die benachbarten Senken der ZL und des Zentrums attraktiver, die entfernt gelegenen (randlichen) Senken weniger attraktiv würden.

Hier ergeben sich wieder interessante Parallelen zu den früher durchgeführten Untersuchungen: so schwächen auch der Übergang von Punktmuster Verzerrung zum Punktmuster Hexagonal ebenso wie eine Zunahme der Versandmengen vom Zentrum zum Rand diesen Gegensatz ab. Dennoch scheint es nicht gerechtfertigt, alle drei Einflußfaktoren als identisch zu betrachten, da die Auswirkungen auf die Gesamtheit der Modellparameter jeweils unterschiedlich sind.

Mit der Wahl von $k = 5$ war beabsichtigt, die Bevorzugung der Nachbarn für die zur Marktbeherrschung tendierenden Quelle gegenüber Stufe 2 zu erhöhen. Dies konnte für Punktmuster 'Verzerrung' erreicht werden, weil dieses System auf Stufe 2 ($\alpha = 1,0$) noch sehr nahe an der Gleichverteilung ist. Nicht dagegen das System Hexagonal: hier war schon aus den Entropiewerten der Versandverteilungen der Einzelquellen die Ungleichverteilung ersichtlich. Tatsächlich übertreffen die Quellen auf Stufe 2 mit ihrer Aufwands-einschätzung die hier implizit umschriebene Tendenz zur Marktbeherrschung bis auf die zentral gelegenen Quellen, denen für $k = 5$ Exponenten $> 1,0$ zukommen.

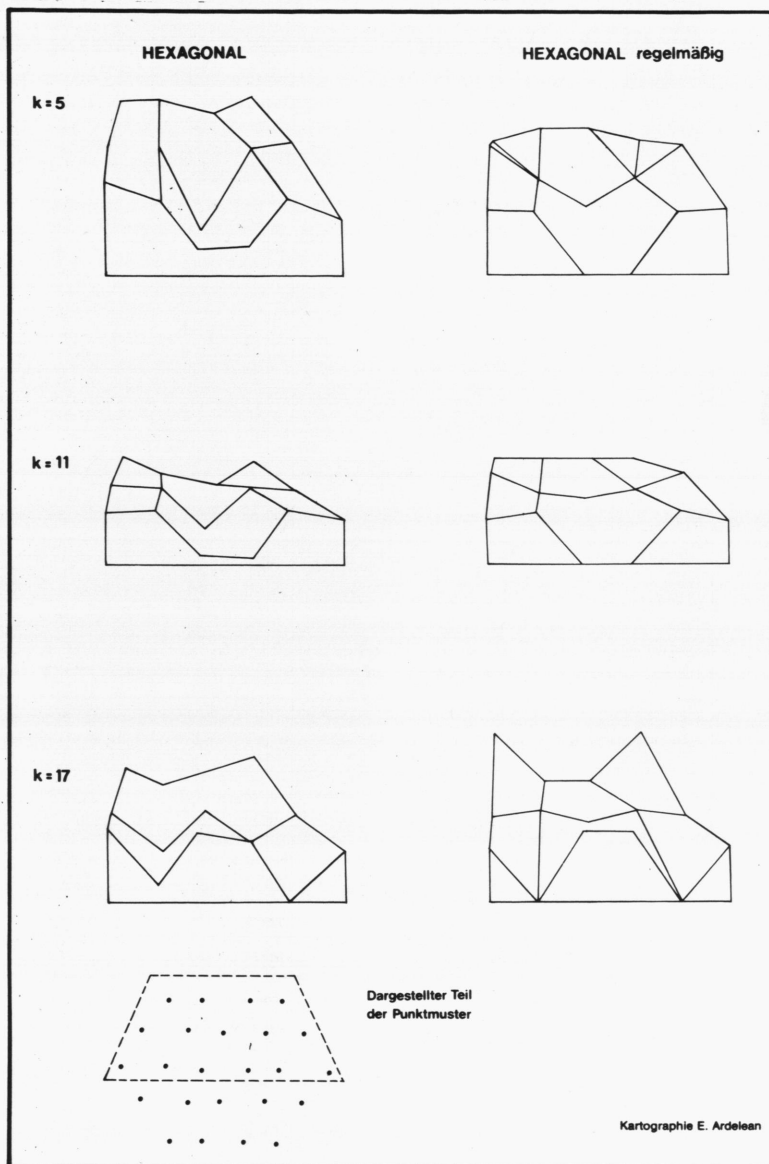
In Abb. 79 (vgl. auch Tab. 13 des TA) sind für die untersuchten Verkehrsverteilungen und alle Quellen die ermittelten Exponenten dargestellt. Sie zeigen eine sehr starke räumliche Differenzierung, die einer eingehenden Betrachtung bedarf.

Für alle drei Fälle erkennt man die unterschiedliche Ausgangslage der Quellen auf Stufe 2 zur angestrebten Verkehrsverteilung. Dies drücken die großen Unterschiede in den Werten recht drastisch aus, obwohl die Spannweiten variieren. Sie ist am größten für die Verteilungsmuster mit stärkerer Ungleichverteilung ($k = 5, 17$), minimal für das zu Gleichverteilung tendierende Verteilungsmuster ($k = 11$).

Am ehesten lassen sich die räumlichen Gruppen für $k = 5, 11$ trennen. Deutlich hebt sich das Zentrum mit niedrigen Werten von der ZL und dem Rand ab. Was für das Punktmuster 'Hexagonal' infolge leichter Abweichungen vom regelmäßigen Hexagonalmuster verwischt ist, zeigen die Abbildungen für dieses. Man stellt für $k = 5, 11$ eine "wellenförmige" Bewegung der Werte für Quellen in Rand- oder Zwischenlage fest. Diese Durchmischung der räumlichen Gruppen wird beim Übergang zu $k = 17$ noch stärker, so daß sich sogar die zentralen Quellen nicht mehr in ihren Werten absetzen.

Eine Ähnlichkeit mit den von Johnston beobachteten Variationen der Exponenten ist wegen der hier vorgenommenen expliziten Raumanbindung des Verteilungsmusters - Johnston verwendet rauminvariante 'Trade-Vektoren' als Verteilungsmuster - nicht zu erwarten.

Abb. 79 Modellrechnungen Stufe 4; 'Hexagonal', 'Hexagonal regelmäßig':
 Räumliche Verteilung der Exponenten der Entfernungsfunktion der Quellen
 1 bis 15, falls diese jeweils als einzige Quelle die Verteilungsstrategie $k=5$,
 11, 17 wählen und die übrigen Quellen hinsichtlich der Entfernungsfunktion
 auf Stufe 2 verbleiben



Kehrt man noch einmal zur Beispiel-Quelle 5 zurück, so ist aus Tab. 13 des TA ein von Stufe 2 bis $k=17$ konstant fallender Exponent festzustellen. Entsprechend den Überlegungen müßte auch im Vergleich zu Stufe 2 die räumliche Konkurrenz in der Umgebung

der Quelle sinken, zum Gegenrand zu steigen, wenn k die Werte 5, 11, 17 annimmt. Es fragt sich nun, ob die Entfernung, innerhalb deren ein Attraktivitätsgewinn feststellbar ist, für alle zu untersuchenden Verteilungsmuster konstant bleibt. Oder anders ausgedrückt: gibt es eine Zone mit gering schwankenden Konkurrenzen oder nur Senken mit gleichbleibender bzw. abnehmender Konkurrenz? Diese räumliche Fragestellung hat insofern Bedeutung, als dann auch Senken mit nur geringfügig schwankenden Präferenzanteilen des Versands von Quelle 5 existieren.

Abb. 80 zeigt die Veränderungen der relativen B-Werte, falls die Quelle 5 nacheinander die Verkehrsverteilung auf Stufe 2 bzw. nach $k = 5, 11, 17$ vornimmt. Tatsächlich ist ersichtlich, daß die Grenz-entfernung für gesteigerte Senken-Attraktivität von $k = 5$ nach $k = 17$ wächst [* , M 3.4].

Dementsprechend ergibt sich eine Zone schwankender Konkurrenzen resp. Ausgleichsfaktoren, die die Senken abnehmender Konkurrenz (Zunahme der Attraktivität) von jenen zunehmender Konkurrenz (Abnahme der Attraktivität) trennt.

Als schon erwähnte Folge weist Abb. 81 eine ähnlich gelagerte Zone schwankender Präferenzanteile auf, die sich zwischen Senken mit sinkenden Anteilen und solchen mit steigenden Anteilen schiebt. Im wesentlichen sind infolge des Einflusses der variablen Entfernungsfunktion von Quelle 5 die Veränderungen der Präferenzanteile der Senken am Gesamtversand von Quelle 5 den Veränderungen der B-Werte entgegengesetzt.

Diese oben angesprochene Zone umfaßt auch jene Quellen des Gesamtsystems, deren Versandverteilung durch das Ausscheren der Quelle 5 am wenigsten beeinflußt wird, da in ihrer jeweiligen Nahumgebung nur geringe Konkurrenzänderungen gegenüber Stufe 2 stattfinden.

Geht man zu einer zentralen Quelle über, dann zeigt sich, daß die "kritische" Entfernung für ein und dasselbe k gegenüber einer Randquelle geringer ist, was die in 4.1 ausgesprochene Erwartung bestätigt.

Abb. 80 Modellrechnung Stufe 4; 'Hexagonal': Veränderung der relativen B-Werte, falls die Quelle 5 die der Stufe 2 bzw. den Strategien $k = 5, 11, 17$ entsprechende Entfernungsfunktion annimmt

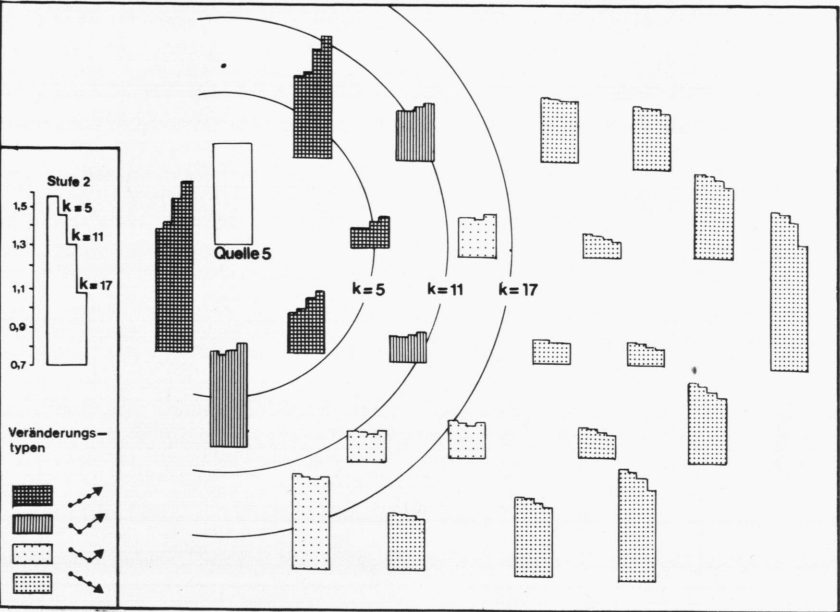
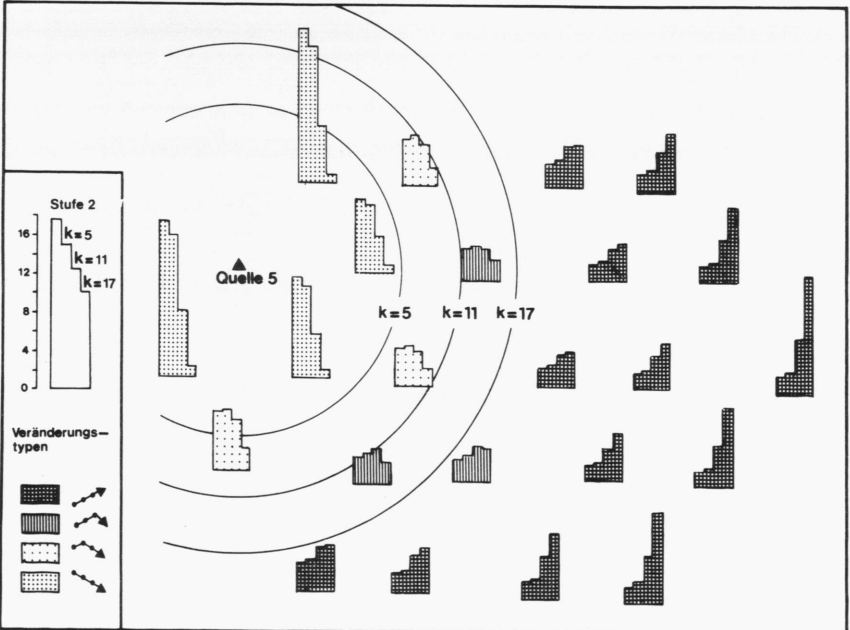


Abb. 81 Modellrechnung Stufe 4; 'Hexagonal': Veränderungen der Präferenzanteile (%) der Senken, falls Quelle 5 nacheinander Stufe 2, $k=5, 11, 17$ durchläuft



Kartographie E. Ardelean

Auch diese Betrachtungen bescheinigen dem erweiterten Konkurrenzmodell ein hohes Maß an logischer Konsistenz im Sinne von Heggie [108].

Ohne ausführlich zu werden, sollen noch einmal vergleichshalber die mit Punktmuster Verzerrung erzielten Ergebnisse vorgestellt werden (vgl. Tab. 13 des TA). Vorauszuschicken ist, daß Stufe 2 als Vergleichsbasis nahe an die Gleichverteilung heranrückt, auch wenn mit Exponent $\alpha = 1,0$ rein optisch ein Abstand vom entsprechenden Exponenten $\alpha = 0$ für die Gleichverteilung gewonnen zu sein scheint. Dementsprechend stellen die neuen Verteilungen für $k=5,17$ jeweils einen Schritt in Richtung Ungleichverteilung für die sie vertretende Quelle dar.

Vergleicht man die Exponenten der einzelnen Verteilungen mit entsprechenden von 'Hexagonal', fällt auf, daß sich auch hier die Punktdichtevariation ganz erheblich niederschlägt: Spannweite, Variation und räumliche Verteilung weichen z.T. erheblich von den für Hexagonal gefundenen Werten ab.

Hieraus ergeben sich für die Modellanwendung und die Interpretation der Ergebnisse erhebliche Schwierigkeiten. Gesetzt, man verwendet das Konkurrenzmodell mit ein und derselben Entfernungsfunktion für alle Quellen (Stufe 3) zur Approximation einer aus der Realität gewonnenen VSM mit (real) variablen Entfernungsfunktionen der Quellen. Dann steht zu erwarten, daß der so gewonnene Exponent zwar Rückschlüsse für Quellen der ZL zuläßt, kaum aber für Rand- oder zentral gelegene Quellen.

Sollte man sich jedoch zur Anwendung des erweiterten Konkurrenzmodells entschließen, so besteht für die benutzten iterativen Verfahren zur Exponentbestimmung [*, M 6.3], [*, M 6.4] die Notwendigkeit, Anfangsschätzwerte für die Einzelexponenten anzugeben. Für 'Hexagonal' genügt in vielen Fällen der auf Stufe 3 ermittelte gemeinsame Exponent der zu approximierenden Verkehrsverteilung als Näherungswert der regionalisierten Exponenten. Man beachte jedoch, daß auch hier für $k=5$ bzw. $k=17$ diese Näherung schlechter wird. Im Falle der Verzerrung muß man sich u.U. mit Einzelbetrachtungen der jeweiligen Verkehrsverteilung der Quellen befassen, um hieraus

erste Näherungen zu gewinnen. Dies wirft aber die entscheidende Frage auf:

Können die für lokale Verkehrsverteilungen gewonnenen Exponenten "additiv" zur Erklärung des Gesamtsystems herangezogen werden? D.h. für die behandelten Beispiele:

Können die für $k = 5, 11, 17$ für jede Quelle gewonnenen Exponenten auch eine Verkehrsverteilung des Gesamtsystems bewirken, die $k = 5, 11, 17$ entspricht?

Mit dieser Frage, die so viele geographische Untersuchungen berührt, soll sich der nächste Unterabschnitt befassen.

4.3.3.2 "Additivität" der Einzelverteilungen?

In vielen geographischen Untersuchungen finden sich mittels Regression berechnete regionalisierte Exponenten (Smith, [223]; Johnston [129], O'Sullivan [191]). Implizit setzen die Autoren voraus, daß keine räumliche Konkurrenz die Einzelberechnung für eine Quelle stört. Es wird auch übersehen, daß selbst im Falle einer konstanten Konkurrenz ($\alpha = 0$) nach Berechnung eines Einzel-exponenten für eine Quelle erhebliche Veränderungen eintreten, wie in 4.3.3.1 gezeigt werden konnte.

Nun sind die in Tab. 13 des TA dargestellten Einzelexponenten unter Beachtung der auf Stufe 2 herrschenden räumlichen Konkurrenz gewonnen worden. Der Stufe 2 kommt - zumindest für das Punktmuster 'Hexagonal' - die Aufwandseinschätzung am nächsten, welche durch $k = 5$ charakterisiert ist. Gesetzt, man wollte erreichen, daß nicht nur eine Einzelquelle, sondern alle Quellen gleichzeitig diese Verteilungsstrategie $k = 5$ verfolgen. Kann man dies dadurch erzielen, indem alle Einzelexponenten gleichzeitig in das Modell eingebracht und zur Berechnung der Verkehrsverteilung herangezogen werden?

Gemäß der Verkehrsverteilungsannahme ($k = 5$) muß jede Quelle insgesamt 50% ihres Versands an die 5 nächstgelegenen Senken versenden. In Abb. 82 ist nun dargestellt, um wieviel Prozent die

Abb. 82 Modellrechnung Stufe 4; 'Hexagonal' : Abweichung der Versandverteilung von $k=5$ (in % des Gesamtversands), wenn die für $k=5$ als Einzelstrategie getrennt ermittelten Exponenten herangezogen werden, um $k=5$ im Gesamtraum zu erzeugen

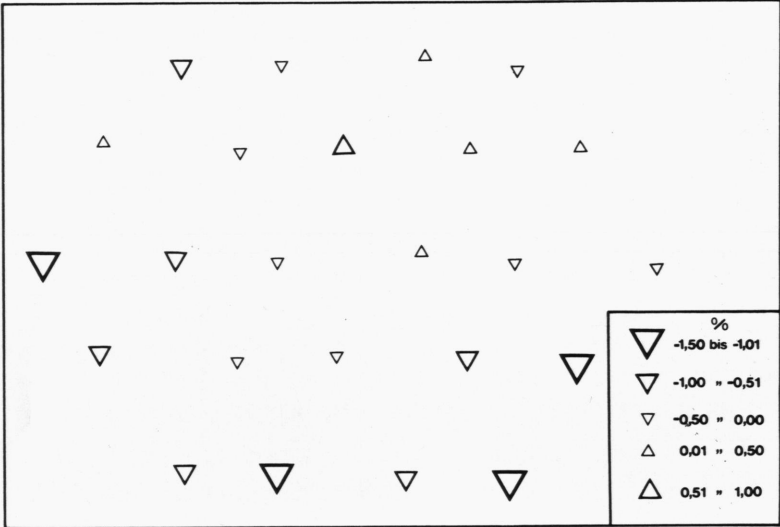
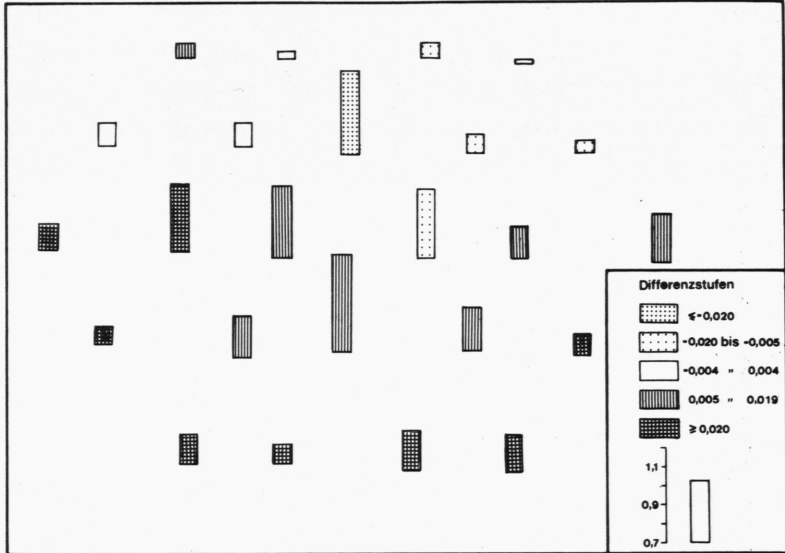


Abb. 83 Modellrechnung Stufe 4; 'Hexagonal' : Differenz zwischen dem für $k=5$ im Gesamtraum und dem für $k=5$ der Einzelsenke ermittelten Exponenten der Entfernungsfunktion



Kartographie E. Ardelean

jeweilige Quelle diesen Wert bei der "additiven" Verwendung der Einzelexponenten unterschreitet bzw. übertrifft. Trotz der Ähnlichkeit von Stufe 2 als Ausgangspunkt für die Ermittlung der Einzelexponenten mit $k = 5$ im Gesamtraum als erstrebtem Endziel ist keine "Additivität" der Einzelexponenten erkennbar. Zu sehr sind die einzeln gewonnenen Exponenten von der angestrebten Verkehrsverteilung ($k = 5$) und von den Konkurrenzverhältnissen der Stufe 2 beeinflusst.

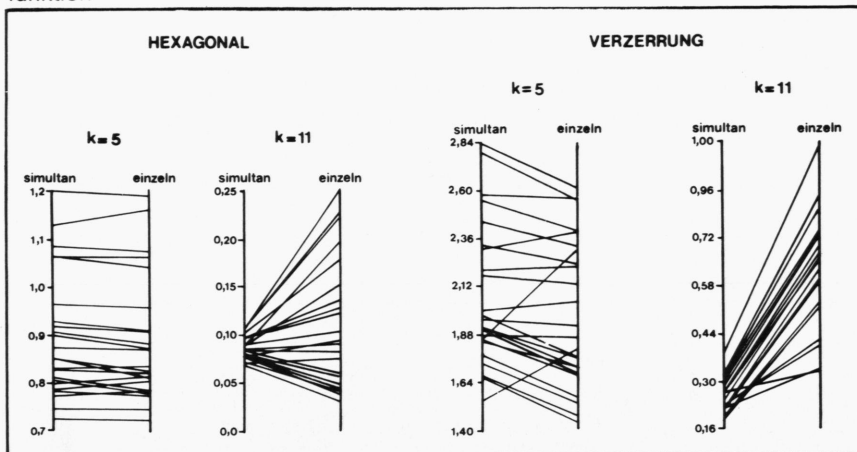
Ermittelt man nun in einem Rechengang jene Exponenten, die tatsächlich $k = 5$ im Gesamtraum bewirken, dann erhält man die in Abb. 83 dargestellten Abweichungen von den Einzelexponenten.

Der Zusammenhang zwischen Abb. 82 und 83 ist deutlich: Wurde bei "Additivität" der Einzelexponenten der Nahbereich einer Quelle (d.h.: Summe des Versands nach den 5 höchstgelegenen Senken) unterschätzt, dann erhöht sich der Exponent bei gemeinsamer Berechnung der Exponenten gegenüber dem für diese Quelle ermittelten Einzel-exponent; bei Überschätzung des Nahbereiches erniedrigt er sich.

Als Ergebnis ist festzuhalten, daß auch im erweiterten Konkurrenzmodell der Einfluß der Verhältnisse im Gesamtsystem auf die Einzelverkehrsverteilung nicht zu umgehen ist. Betrachtet man hierzu noch einmal die entsprechenden Ergebnisse für $k = 11$, so stellt man fest, daß die Einzelexponenten zunehmend versagen, wenn es darum geht, im Gesamtsystem die mit $k = 11$ umschriebenen Verteilungen zu erzeugen (vgl. Abb. 84).

In Abb. 84 sind die Veränderungen der Exponenten bei Übergang von getrennter zu gemeinsamer Berechnung für $k = 5, 11$ und beide Punktmuster dargestellt. Wieder wird deutlich, daß die ausgeprägteren Konkurrenzgegensätze bei Punktmuster 'Verzerrung' ihren Niederschlag in den Einzelexponenten finden und damit größere Verschiebungen beim Übergang zur gemeinsamen Berechnung notwendig machen. Eine Verkehrsverteilung von $k = 17$ ist im Gesamtsystem aus modelllogischen Gründen nicht möglich.

Abb. 84 Modellrechnung Stufe 4; ideale Punktmuster : Gegenüberstellung der bei Einzel- bzw. Simultan- Berechnung gewonnenen Exponenten der Entfernungsfunktion



Kartographie E. Ardelean

Damit sind die Aussagen 4 und 5 des Abschnitts 4.1 bestätigt: wenn im Gesamttraum eine Verteilungsstrategie herrscht, bspw. implizit definiert durch $k=5$, so ist dies dennoch mit regional differenzierten Aufwandseinschätzungen (Exponenten der Entfernungsfunktion) verbunden. Schert eine einzelne Quelle aus, hat Abb. 78 gezeigt, daß dann die Verkehrsverteilungen aller Quellen betroffen sind.

4.3.3.3 Überlegungen zur Approximation der 'Reale-Welt-Situationen' auf Stufe 5

Bevor die letzte in 4.3.2 angeschnittene Frage bearbeitet wird, soll noch einmal auf die 'Reale-Welt-Situationen' von 4.1 zurückgekommen werden. In Stufe 5, der Endstufe des in dieser Arbeit entwickelten Konkurrenzmodells, treten sowohl räumlich verteilte Exponenten als auch räumlich frei variierende Aufkommensmengen auf. Ergeben sich hierdurch bessere Möglichkeiten, die in den 'Reale-Welt-Situationen' angesprochenen Teilverkehre im definierten Sinne nachzubilden? Hierzu seien folgende Überlegungen angestellt:

Da der Rand-Zentrum-Gegensatz der räumlichen Konkurrenz zur Heraushebung der entsprechenden Teilverkehre der Modellrechnungen 42, 43 führte, genügt es, den Rand-Rand (Modellrechnung 41) und Zentrum-Zentrum (44)-Verkehr zu betrachten.

Rand-Rand

Auf Stufe 3 bewirkt die Aufkommensverteilung in Modellrechnung 41 ein Abflachen des Rand-Zentrum-Gegensatzes der räumlichen Konkurrenz und damit eine geringere Intensität der Rand-Rand-Verkehre als bspw. bei Modellrechnung 43. Eine gezielte Intensitätssteigerung ist nur möglich, wenn dieser Abschwächung der Konkurrenzunterschiede entgegengewirkt wird. Hierzu bieten sich auf Stufe 5 folgende Möglichkeiten an:

Man unterstellt dem Rand die Tendenz zur Spezialisierung, dem Zentrum die Tendenz zur Marktbeherrschung. Damit erreicht man zwar eine Verstärkung der Konkurrenzunterschiede; sie kommt jedoch durch die angenommene Spezialisierungstendenz der Randquellen zur Gleichverteilung nicht zum Tragen.

Die Annahme der Marktbeherrschung der Randquellen, die ja implizit in der Auswahl des Teilverkehrs verborgen ist, bewirkt zwar über die Entfernungsfunktion eine stärkere Intensität zu benachbarten (Rand-)Senken, schwächt aber gleichzeitig den Rand-Zentrum-Konkurrenzgegensatz noch mehr ab.

Zentrum-Zentrum

Die schlechte Approximation auf Stufe 3 lag - durch die Auswahl der Aufkommensmengen begründet - in der Verstärkung des Rand-Zentrum-Gegensatzes der räumlichen Konkurrenz. Diesen Gegensatz abzuschwächen kann auf zwei Arten versucht werden:

Marktbeherrschungstendenzen der Randquellen, Spezialisierung der zentral gelegenen Quellen. Auch hier mißfällt die Annahme der Spezialisierung, die zwar mithilft, eine Abflachung des Gegensatzes zu erzielen, den Intentionen der Auswahl des Teilverkehrs aber widerspricht.

Eine Annahme der Tendenz zur Marktbeherrschung bei zentral gelegenen Quellen verstärkt jedoch die räumliche Versandkonkurrenz bei zentral gelegenen Senken und vermindert entsprechend ihre ohnehin eingeschränkte Attraktivität.

Tabelle 29

Approximation der den Modellrechnungen 41 und 44 zugeordneten
Teilverkehren auf Stufe 5 - beide Punktmuster -

1. Rand-Rand-Verkehr (mittlerer Präferenzanteil in %)

Exponent- variation Aufkommens- variation	H e x a g o n a l			V e r z e r r u n g		
	vgl. 51	vgl. 10	vgl. 52	vgl. 51	vgl. 10	vgl. 52
vgl. 41	40,6 (3)	41,6 (3)	41,1 (4)	43,9 (3)	46,5 (3)	45,5 (3)
vgl. 42	40,1 (4)	40,6 (4)	41,3 (3)	35,0 (4)	45,0 (4)	44,5 (4)
vgl. 43	43,2 (1)	56,7 (1)	48,2 (1)	49,1 (1)	57,2 (1)	57,0 (1)
vgl. 44	42,9 (2)	46,7 (2)	47,6 (2)	48,7 (2)	55,6 (2)	55,0 (2)

2. Zentrum-Zentrum-Verkehr (mittlerer Präferenzanteil in %)

Exponent- variation Aufkommens- variation	H e x a g o n a l			V e r z e r r u n g		
	vgl. 51	vgl. 10	vgl. 52	vgl. 51	vgl. 10	vgl. 52
vgl. 41	18,2 (2)	20,4 (2)	20,4 (2)	17,3 (2)	24,7 (2)	25,5 (2)
vgl. 42	18,5 (1)	22,7 (1)	20,6 (1)	17,5 (1)	25,7 (1)	26,2 (1)
vgl. 43	14,5 (4)	18,8 (3)	16,9 (4)	14,5 (3)	18,5 (4)	19,5 (4)
vgl. 44	14,6 (3)	17,2 (4)	17,0 (3)	14,5 (3)	19,0 (3)	20,0 (3)

Aufkommensvariationen und Exponentvariationen durch Angabe entsprechender Modellrechnungsnummern der Tab. 16 und 17 gekennzeichnet. In Kombination ergeben sie Modellrechnungen der Tab. 18. Ordnungszahlen der spaltenweisen Reihung der Werte in ().

Die diskutierten Vorschläge zur Nachbildung der ausgewählten 'Reale-Welt-Situationen' sind in Fortführung der Modellrechnungen erprobt und die dabei erzielten Ergebnisse in Tab. 29 zusammengestellt. Es zeigt sich, daß es sehr schwer ist, mit dem Modell gezielt Ungleichverteilungen nachzubilden. Denn hier dokumentiert sich immer wieder das Bestreben, die Entropie der Verkehrsverteilung im Gesamtraum zu maximieren.

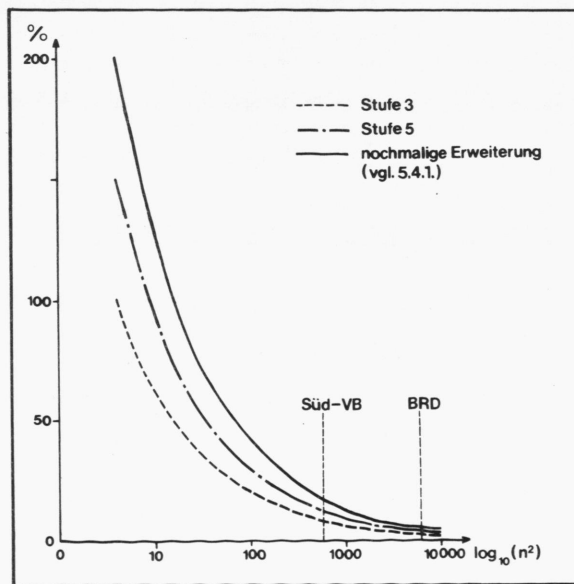
4.3.4 Übertragbarkeit der auf Stufe 5 gewonnenen Modellergebnisse

Die bislang begleitend zum Modellausbau durchgeführten Überlegungen zur Übertragbarkeit der Modellergebnisse (vgl. 1.4, 2.1, 2.7) sollen nun ihren Abschluß finden.

Curry [63] drückt in scharfer Form und mit einer formalistischen Begründung sein Mißtrauen gegenüber der Regionalisierung der Exponenten aus. Für ihn dient die Vielzahl der Modellparameter nur zur Justierung eines untauglichen Instruments, wenn es darum geht, die Realität nachzubilden und zu erklären. Seinem Gedankengang folgend scheint die Endstufe der Justierung dann erreicht, wenn für jede Verkehrsbeziehung ein Faktor zur Schätzung herangezogen würde. D.h. der Aufwand zur Schätzung der realen oder zukünftigen VSM ist maximal.

Tatsächlich weist Becker [17; p. 17] darauf hin, daß solche einfachen Fortschreibungen verschiedentlich angewandt werden. In Zeitreihenstudien werden für jede Verkehrsverbindung die Trends festgestellt, fortgeschrieben und zur Prognose herangezogen.

Abb. 85 Prozentanteil der zu schätzenden Modellparameter an der Anzahl (n^2) der zu schätzenden Verkehrsrelationen für die Modellstufen 3, 5 und Erweiterung im Anwendungsfall



Kartographie E. Ardelean

Die dahinter stehende Frage, wie weit eine Abstraktion bei Modellnachbildung zu gehen hat, läßt sich nicht global beantworten. In der Tat wird jedoch die Informationsreduktion der Randbedingungen beim hier aufgestellten Konkurrenzmodell mit steigender Anzahl der interagierenden Quellen und Senken immer besser. In Abb. 85 ist für die einzelnen Stufen die Anzahl der jeweils erhaltenen Parameter der Anzahl der zu schätzenden Verkehrsbeziehungen gegenübergestellt.

Nimmt man an, daß mit Hilfe des erweiterten Konkurrenzmodells eine vorgegebene Verkehrsverteilung nachzubilden ist, dann fragt es sich, was sich an Struktur der ursprünglichen Matrix in den ermittelten Modellparametern niederschlägt. Oft wird die Ansicht vertreten, man hole nur heraus, was hineingesteckt wird. Aber ist es nur eine Transformation der Eingabewerte, wie Killisch [138; p. 175] es für das einfache Gravitationsmodell behauptet?

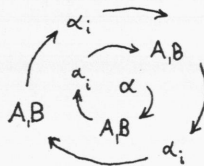
Sicherlich nicht. Zwar werden die Modellparameter wesentlich von der Ausgangssituation geprägt (Punktmuster, Verteilung der Aufkommensmengen), aber entscheidend ist doch die den Raum strukturierende Modellhypothese der Entropiemaximierung. Träger dieser Struktur sind und bleiben die Modellparameter. Sie erzeugen aus den Ausgangsdaten die gemäß Modellhypothese zu erwartende Verteilung.

Anders als bei dem 'friction-Konzept', welches nur die Raumvariable Distanz heranzieht und demzufolge eine einzige, rauminvariante Widerstandsfunktion kennt, wird beim Konkurrenzmodell infolge der zusätzlichen Berücksichtigung der relativen Lage mittels der Modellparameter jeder Quelle ihre spezifische, raumgebundene Widerstandsfunktion zugeordnet. Das Bestreben ist demnach darauf ausgerichtet, diese räumliche Widerstandsfunktionen dergestalt zu typisieren, daß sie untereinander vergleichbar werden und ihre räumliche Verteilung im Untersuchungsgebiet mit derjenigen anderer Untersuchungen in Zusammenhang gebracht werden kann. Aus den obigen Ausführungen folgt, daß die hierzu benötigten Bezugsbasen ebenfalls vom Untersuchungsraum abhängig sein müssen. Im folgenden werden zwei Vorschläge unterbreitet.

1. Sieht man den konstanten Exponenten der Entfernungsfunktion auf Stufe 3 als Ausdruck der gleichen Aufwandseinschätzung im Raum an, so ergibt sich die räumliche Widerstandsfunktion als Produkt dieser Entfernungsfunktion und der unter ihrem Einfluß bestehenden räumlichen Konkurrenz in Gestalt der Ausgleichsfaktoren. Man beachte: α beeinflusst A, B.

Man kann nun annehmen, daß dieser Zustand im Idealfall bei räumlich gleichzeitiger Einführung eines neuen Verkehrsmittels bestanden hat. Dann aber setzt folgender Prozeß ein: die in den einzelnen Quellen ansässigen Versender werden sich sowohl ihrer relativen Lage im Gesamtsystem als auch der daraus resultierenden räumlichen Konkurrenz bewußt und dies führt regional differenziert zu unterschiedlichen Aufwandseinschätzungen, d.h. Übergang zu Stufe 5. A, B beeinflussen α .

Jede Veränderung von Einschätzungen beeinflusst das Gesamtsystem, indem es neue Konkurrenzverhältnisse schafft. So wird eine Spirale in Gang gesetzt, deren vorläufiger Endzustand sich in der Modell-VSM auf Stufe 5 niederschlägt.



Nun sind Approximationen einer vorgegebenen VSM auf den Stufen 3 und 5 möglich. Es liegt nahe, Stufe 3 als Ausgangs- und Stufe 5 als Endzustand anzusehen. Damit eröffnet sich die Möglichkeit, jeder Quelle zwei räumliche Widerstandsfunktionen zuzuordnen, die miteinander hinsichtlich Abweichungen verglichen werden können. Im einfachsten Fall lassen sich Fragen beantworten, ob im Endzustand gegenüber dem Ausgangszustand eine Spezialisierung oder eine Tendenz zur Marktbeherrschung eingetreten ist. Damit erhielte man ein aus geographischem Blickwinkel interessantes Ergebnis, welches über die bloße Bestätigung oder Ablehnung der Modellhypothese hinausreicht.

Diese Überlegungen kommen im 5. Kapitel zur Anwendung. Um jedoch hier schon einen Eindruck der Beziehungen von einem Exponenten für das Gesamtsystem (Stufe 3) und variablen Exponenten zu geben, werden die in 4.3.3.2 erzeugten Verkehrsverteilungen mit $k = 5, 11$ im Gesamtsystem auf Stufe 3 approximiert (vgl. Tab. 30).

Tabelle 30

Statistische Parameter der regionalisierten Exponenten für die durch $k = 5, 11$ umschriebene Verkehrsverteilung im Gesamtsystem; Exponent der Modellapproximation auf Stufe 3 - beide Punktmuster -

	H e x a g o n a l		V e r z e r r u n g	
	k = 5	k = 11	k = 5	k = 11
Exponent Stufe 3	0,855	0,084 ₅	1,957	0,228
Statist. Parameter Stufe 5				
\bar{x}	0,894	0,085 ₉	2,076	0,251
s	0,130	0,011	0,361	0,057
v	0,145	0,128	0,174	0,229
Median	0,852	0,082 ₉	1,936	0,239
max	1,208	0,108	2,856	0,384
min	0,725	0,067	1,544	0,177
range	0,483	0,041	1,312	0,207

Aus Tab. 30 ist abzulesen, daß der auf Stufe 3 ermittelte Exponent weder das arithmetische Mittel noch den Median der auf Stufe 5 gemeinsam errechneten regionalisierten Exponenten darstellt. Auch die Güte der Approximation schwankt: sie ist abhängig von der Streuung der regionalisierten Exponenten und diese wiederum vom Punktmuster und dem Verteilungstyp.

2. Würde man die eben angedeutete Untersuchung zu Ende führen, ergäben sich insofern unkorrekte Ergebnisse, als den Quellen entsprechend ihrer unterschiedlichen räumlichen Widerstandsfunktionen auf Stufen 3 und 5 ungleiche Verteilungsstrategien unterstellt würden. Tatsächlich galt jedoch für das Gesamtsystem der gleiche Verteilungstyp im jeweiligen Relativraum der Einzelquelle. Dieser Interpretationsfehler kann dadurch vermieden werden, daß man den Einzelexponent von vornherein nur als Approximation eines überall gleichen Verteilungsmusters im Relativraum ansieht. D.h. man sucht

zu dem auf Stufe 3 ermittelten gemeinsamen Exponenten die zugehörige k -Verteilung (als Näherung $k \in \mathbb{N}$) und vergleicht die auf Stufe 5 bei Approximation der vorgegebenen VSM gewonnenen Einzel-exponenten mit jenen, die den Quellen bei Annahme der k -Verteilung im System zukäme.

Dieses rechnerisch z.T. sehr aufwendige Verfahren kann dadurch abgekürzt werden, daß die auf Stufe 5 ermittelte Präferenzenverteilung der Quelle durch Angabe der ihr am nächsten kommenden k -Verteilung näherungsweise typisiert wird.

Es wird keinesfalls behauptet, daß damit die Möglichkeiten der Typisierung der modellmäßig ermittelten Widerstandsfunktionen erschöpft sind. Vielmehr scheint der Vorgang zur Ermittlung der Bezugsbasen richtungsweisend: nicht an absolut und rauminvariant gewählten Vergleichsverteilungen wird geeicht, sondern es wird von den im Untersuchungsraum herrschenden Verhältnissen ausgegangen.

4.4 RÜCKBLICK AUF DIE THEORETISCHEN ANSÄTZE

Jener Teil der theoretischen Untersuchungen, der sich mit der Modellentwicklung und ihren Auswirkungen auf die regionale Verkehrsverteilung befaßt, ist mit den Modellrechnungen auf Stufe 5 abgeschlossen. Bevor die zweite Überprüfung des aufgestellten Modells an der Nachbildung eines realen Teilverkehrs in Kap. 5 erfolgt, sollen noch einmal kurz einige Grundzüge der erhaltenen theoretischen Ansätze beleuchtet und als Richtlinien für Anwendung des Modells bzw. empirische Studien zur Realitätsnähe seiner Verkehrsverteilung dargestellt werden.

Zwei wichtige Richtlinien für die Modelluntersuchung waren die sukzessive Strukturierung des Raumes und die Typisierung räumlicher Punktdichtevariationen hinsichtlich der räumlichen Konkurrenz. Bei der sukzessiven Strukturierung des Raumes nimmt infolge der ständig wachsenden Informationsmenge die minimal mögliche

relative Entropie der Präferenzverteilung von dem Wert 1 der Stufe 1 über die Stufen 2 bis 5 ab. Dies ist ein Schritt in Realitätsnähe, denn die Vielzahl der realen Verkehrsverteilungen weicht recht beträchtlich von der Gleichverteilung ab. Auch die Typisierung der Punktmuster weist in der Reihung 'Hexagonal' - 'Süd-VB' - 'Johnston' - 'Verzerrung' einen Quasi-Informationszuwachs für die modellhaft berechnete Verkehrsverteilung auf: die minimal mögliche relative Entropie der Präferenzverteilung sinkt. Bei den Ansätzen zur Übertragbarkeit der erzielten Ergebnisse werden neben Normierungen von Verkehrsverteilungen im Relativraum diese unterschiedlichen Informationsstufen in Beziehung gesetzt. So z.B. die Definition der Präferenzen, der Vorschlag des Vergleichs der räumlichen Widerstandsfunktionen auf Stufe 3 und 5 zur Typisierung der Versandverteilung einer Quelle oder die Heranziehung des Hexagonalmusters zu Vergleichsrechnungen.

Ein wesentlicher Unterschied im Ansatz des erweiterten Gravitations- zum einfachen Gravitationsmodell besteht darin, daß die explizite Formulierung der funktionalen Verflechtung zweier Raumpunkte zugunsten einer globalen Charakterisierung der im System herrschenden Verkehrsverteilung (Entropie-Maximierungshypothese) aufgegeben wird. Aus dieser impliziten Festlegung des Verkehrsflusses zwischen zwei Knoten ergibt sich die Notwendigkeit, die regionalen Auswirkungen der globalen Charakterisierung abzuschätzen

Auf Stufe 2 konnte die regionale Differenzierung der Versandentropie der Quellen in Abhängigkeit von ihrer relativen Lage nachgewiesen werden. Auch die Interaktionsintensität, gemessen in Präferenzwerten, zeigt eine ausgeprägte Differenzierung: zwischen benachbarten Randpunkten werden die höchsten, zwischen benachbarten zentral gelegenen Punkten die niedrigsten Werte erreicht. Völlig von der Verkehrsverteilung des einfachen Gravitationsmodells abweichend ist die Begünstigung von Senken des Gegenrands durch Randquellen bzw. die ausgeprägte Asymmetrie der räumlichen Widerstandsfunktion von zentralen Quellen mit Bevorzugung der jeweiligen Nachbar-Randsenken. Diese Komponenten der Verkehrsverteilung werden durch die Kompensierung der räumlichen Konkurrenz, also der Einführung der relativen Lage, in das Modell eingebracht.

Die Auswirkungen der Verteilung der Aufkommensmengen bei Übergang von Stufe 2 auf Stufe 3 lassen sich mit Hilfe der Kovarianz abschätzen. Etwas vergrößernd formuliert erfährt die räumliche Konkurrenz gegenüber Stufe 2 dann eine Abschwächung oder Verstärkung, wenn die Aufkommensmengen erkennbar in Abhängigkeit von der relativen Lage der Punkte variieren. Je loser der Zusammenhang zwischen Aufkommen und relativer Lage, um so geringer die Veränderungen der räumlichen Konkurrenz gegenüber Stufe 2, wobei jedoch lokal durchaus gewichtige Veränderungen eintreten können: hier spielen Exponent und Punktmuster eine entscheidende Rolle.

Wie im Gesamtkontext der Untersuchungen zu erwarten, erhöht sich mit steigender Aufkommensmenge einer Quelle die Entropie ihrer Verkehrsverteilung, jedoch in Abhängigkeit von der relativen Lage der Quelle. Hieraus ergeben sich aber nur in begrenztem Umfang Möglichkeiten, gezielt Ungleichverteilungen der Widerstandsfunktion nachzubilden. Dem steht die übergeordnete Modellhypothese der Entropiemaximierung im Gesamtsystem mit vielfältigen Ausgleichsbewegungen entgegen.

Auch auf Stufe 4 macht sich die globale Charakterisierung der Verkehrsverteilung bemerkbar: zwar können mit Hilfe zusätzlicher, regional differenzierter Information über den Aufwand der Quellen gezielt Zu- oder Abnahmen der Entropie der Einzelverteilungen erzielt werden, jedoch wird jedes beträchtliche Ausscheren einer Quelle aus dem Verband der Aufwandseinschätzung durch alle anderen Quellen mit relativ kleinen Richtungsumorientierungen ausgeglichen. So ergeben sich auch hier Schwierigkeiten, gezielt regionale Ungleichverteilungen nachzubilden. Gleichzeitig wird jedoch deutlich, daß der System-Zusammenhang der Einzelverkehrsverteilungen bei Berechnung von regional differenzierten Entfernungsfunktionen nicht umgangen werden kann: es besteht keine "Additivität" getrennt gewonnener Einzelexponenten.

Bei allen Ergebnissen wird auf die Abhängigkeit vom jeweils benutzten Punktmuster hingewiesen.

Die mit Hilfe der Modellrechnungen und theoretischen Überlegungen gewonnenen Folgerungen aus der Modellhypothese zeichnen das Bild einer Verkehrsverteilung, der zwar nach dem vorgenommenen Ansatz eine hohe Wahrscheinlichkeit zukommt, die jedoch nicht oder nur in abgewandelter Form in der Realität zu existieren braucht. Entsprechend dem hier vorgetragenen Verständnis von der Entwicklung einer Wissenschaft geben die gewonnenen theoretischen Ansätze Hinweise für einen folgenden Abschnitt gezielter Feldforschung. So ist an empirischen Beispielen zu prüfen, ob sich der Nachbarschaftverkehr randlich durch stärkere Intensität auszeichnet als im Zentrum eines Untersuchungsraumes. Auch die Begünstigung des Gegenrandes oder die Asymmetrie der Widerstandsfunktion einer zentralen Quelle sind Aufgaben für die reale Überprüfung. Letztlich ist auf Stufe 3 zu fragen, ob die Zunahme der Entropie mit wachsendem Aufkommen eintritt und in ihrer Stärke von der relativen Lage der Quelle abhängt.

Für die gesamte Modellanwendung ist die getroffene Festlegung der räumlichen Konkurrenz zu diskutieren: werden lokale Veränderungen durch alle übrigen Quellen ausgeglichen? Dieser zwar mit Hilfe der Entfernungsfunktion abschwächbare, unbedingte System-Zusammenhang aller Verkehrsverteilungen drückt das Wesen der Entropiemaximierung aus, kann aber angesichts der Existenz von Interaktionsbarrieren nicht befriedigen. Freilich setzt eine Modifikation mehr Information voraus. Aber vielleicht lassen sich stärker lokal wirkende Ausgleichsfaktoren unter wahrscheinlichkeitstheoretischen Annahmen ableiten. Das gleiche gilt für die etwas realitätsferne Annahme, daß alle Senken potentielle Ziele einer Quelle sein können. Zwar wird durch die Einführung regionalisierter Exponenten der distanzabhängigen Perzeption Rechnung getragen, jedoch keine Selektivität im Raum erreicht. Auch hier sind weitere empirische Untersuchungen nötig.

Aber in einigen theoretischen Arbeiten zum Aufbau eines Wirtschaftsraumes lassen sich durchaus Elemente der eben beschriebenen Verkehrsverteilung nachweisen. So bestehen in dem von Otremba [195] entworfenen Raum für den HBW-Verkehr von einem Wohnsektor aus gesehen drei Hauptziele: die benachbarten Sektoren mit dominanter industrieller Nutzung und das im Zentrum gelegene Dienstleistungs-

gebiet. Freilich kommt diesen Verkehrsströmen eine geringere Entropie zu als in einem nach Entropiemaximierung aufgebauten Verkehr in diesem Wirtschaftsraum.

Nicht nur zur Überprüfung der entwickelten Verkehrsverteilung, sondern auch zur Anwendung des Konkurrenzmodells zwecks Nachbildung oder Prognose realer Verkehre sind die theoretischen Ansätze verwendbar. Hier sei nur ein Problem herausgegriffen: die Unterteilung des Untersuchungsgebietes in Verkehrsbezirke.

Betrachtet man z.B. die Verhältnisse der Modellrechnung 42, erkennt man unschwer die Situation für den HBW-Verkehr in einer Stadt. Nach den Ergebnissen der Modellrechnung kommt dieser Aufkommensvariation ein geringer Rand-Zentrum-Gegensatz der räumlichen Konkurrenz zu. Kann also die Einteilung der Verkehrszellen so gewählt werden, daß diese Aufkommensverteilung erreicht wird, andererseits ein zum Hexagonal tendierendes Punktmuster der Verkehrsschwerpunkte entsteht, dann sind die besten Voraussetzungen für eine in der Hauptsache von der Entfernung beeinflusste, in ihren Ergebnissen übertragbare Modellanwendung gegeben.

KERNLITERATUR KAPITEL 4

- Edens, H.J.: Analysis of a modified gravity model. In: Transportation Research 4 (1970), pp. 51 - 62.
- Johnston, R.J.: On Regression coefficients in comparative studies of the 'frictions of distance'. In: Tijdschrift voor economische en sociale geografie 67 (1976), pp. 15 - 28.
- Kirby, H.R.: Normalizing factors of the gravity model - an interpretation. In: Transportation Research 4 (1970), pp. 37 - 50.
- O'Sullivan, P.: Variations in distance friction in Great Britain. In: Area 2 (1970), pp. 36 - 39.
- Ruske, H.: Determinanten der Widerstandsfunktion in der Verkehrsverteilungsrechnung. In: Stadt, Region, Land 37 (1976), pp. 37 - 56.
- Saviranta, J.: Chorological matrices and gravity models in human geography. (Fennia 121). Helsinki 1973.
- Smith, D.: Interaction within a fragmented state. The example of Hawaii. In: Economic Geography 39 (1963), pp. 234 - 244.
- Wilson, A.G.: Advances and problems in distribution modelling. In: Transportation Research 4 (1970), pp. 1 - 18.

5. DER WAGENLADUNGSVERKEHR MIT ELEKTROTECHNISCHEN GÜTERN INNERHALB SÜDDEUTSCHLANDS (1972) IN DER MODELLAPPROXIMATION

5.1 ZIELSETZUNGEN DER MODELLANWENDUNG

In Kapitel 3 wurden Kriterien für die Auswahl des zu untersuchenden Teilverkehrs formuliert und angewandt. Dabei konnte gezeigt werden, daß die Modellvoraussetzungen bei Heranziehen des Verkehrs mit elektrotechnischen Gütern erfüllt sind. Die Verwendung von Zusatzinformation wie die lokale Produktionsstruktur oder die Input-Output-Verhältnisse in der Elektrotechnischen Industrie bestätigte die Wahl der Verkehrsschwerpunkte als Quellen und Senken für die Modellanwendung. Eine Darstellung der beobachteten VSM für das Untersuchungsjahr 1972 sollte einen gewissen Erfahrungshintergrund liefern.

Die Approximation der VSM auf Stufe 2 kann insofern nicht befriedigen, als durch die Überführung der beobachteten Matrix in jene mit $V = E = 1000$ viel von der ursprünglichen Struktur verlorengeht. Hier wird nun die bestmögliche Nachbildung der Original-Matrix unter Beachtung der Modellhypothese auf den Stufen 3 und 5 sowie mit einer nochmaligen Erweiterung des Konkurrenzmodells angestrebt. Dabei steht jedoch nicht das Bemühen um die "totale" Erklärung des Teilverkehrs, d.h. die umfassende Herausarbeitung seiner individuellen Züge im Vordergrund, wohl aber - wie in den vorausgegangenen Kapiteln - die Wirkung des Konkurrenzmodells. Würde ersteres Ziel verfolgt, bietet sich eine der Modellanwendung nachgeschaltete gründliche Residualkartenanalyse an. Tests auf räumliche Autokorrelation der Residuen sind geeignet, das eventuelle Fehlen weiterer Raumvariablen sichtbar bzw. neue oder erweiterte Hypothesen überprüfbar zu machen. Zudem liefert der Einsatz anderer Verkehrsverteilungsmodelle (Transportkostenminimierung, intervening opportunity, Leontief) zusätzliche Anhaltspunkte für die Beurteilung der beobachteten Verkehrsverteilung. Freilich sei daran erinnert, daß viele dieser Ansätze mit einem Mehr an Information verknüpft sind.

Aus den nachfolgend aufgeführten Überlegungen lassen sich die angestrebten Untersuchungsschwerpunkte herleiten:

1. Um den beobachteten Teilverkehr bestmöglich unter Verwendung der Modellhypothese anzunähern, werden außer den Aufkommensmengen, der Entfernungsmatrix und dem (regionalisierten) Aufwand auch die Werte der vorgegebenen VSM herangezogen. Man beeinflusst mit diesen Informationen die Parameter des Konkurrenzmodells.
2. Es fragt sich nun, inwieweit das Modell die regional äußerst differenzierten Verteilungsmuster nachzubilden vermag. Dies ist sicherlich problemlos, falls alle VB real ihre Verkehrsverteilung gemäß der Modellhypothese vornehmen. Wie verhält sich aber das Modell, wenn die vorgegebenen Randbedingungen widersprüchlich zur Entropie-Maximierungs-Annahme sind?
Man braucht sich nur vorzustellen, daß es VB im System gibt, die ihre Versandpräferenzen weniger an der Distanz und relativen Lage und mehr an der Bevölkerungsverteilung orientieren. Das Modell wird aber durch die Vorgabe des entsprechenden Aufwands dergestalt beeinflusst, daß es Verkehrsverteilungen in Abhängigkeit von der Distanz und relativen Lage annimmt und solche nachzubilden versucht, die mit den vorgegebenen Aufwandswerten sowie der Modellhypothese übereinstimmen. Dann wird sich als ausschlaggebend für die modellhaft berechnete Verkehrsverteilung auf Stufe 5 erweisen, wie weit die Bevölkerungsagglomerationen von den betreffenden Quellen entfernt sind. Sollten die Randbedingungen kaum in Einklang mit der Modellhypothese zu bringen sein, wird man Kompromisse seitens des Modells erwarten, die auch instabile und nicht eindeutige Lösungen auf Stufe 5 und höheren Erweiterungen einschließen. (Erinnert sei an Kapitel 4, wo sich $k = 17$ im Gesamttraum als nicht möglich erwies.)
3. Unter 2. ist angedeutet, wie die Vorgaben die Modellergebnisse beeinflussen können. Andererseits ist das Modell insofern starr, als es einer Hypothese unterworfen ist, die ihrerseits - wie in Kap. 2 und 4 gezeigt - eine gewisse Raumstruktur der Verteilung zur Folge hat. So werden auf Stufe 5 und in ihrer Erweiterung auch gewisse Verhaltensmuster (Aufwandswahrnehmungen) erzwungen. Beispielsweise durch das Verhalten der Nachbarn, wenn sich deren zu approximierende Verteilungen besser in das Entropie-Maximierungs-Konzept einpassen.
Also bietet das Modell selbst ein Abbild des Verkehrs durch die 'Brille' der raumstrukturierenden Hypothese. Aus diesem Umstand leitet sich die Berechtigung ab, die Modellergebnisse nicht als bloße "Transformation" der vorgegebenen VSM zu sehen, sondern als eigenständige Norm, als Bezugsbasis.

Das Kapitel ist so aufgebaut, daß zunächst die Originalmatrix noch einmal aus ausgewählten Blickpunkten heraus betrachtet wird. Nach allgemeinen Aussagen zu den aufkommensstärksten Relationen wird im weiteren Verlauf immer wieder auf die Präferenzen verwiesen. Sie eignen sich besonders zum Vergleich. Verteilungstypen werden ausgewählt und mit Hilfe statistischer (auch 2-dimensionaler) Verfahren beschrieben. Um zu beurteilen, ob die Abhängigkeit der Modellergebnisse vom Punktmuster von Vorteil für die Nachbildung ist, werden auch die in Kap. 3 ausgewählten Teilsysteme in ihren Originalpräferenzen dargestellt. Die Versuche zur Übertragbarkeit der Modellergebnisse werden durch Beurteilung der Originalverteilungen im Relativraum vorbereitet.

Dann folgen in aufeinanderfolgenden Abschnitten die Modellapproximationen auf den Stufen 3, 5, jeweils für die Punktmuster 'Hexagonal' und 'Süd-VB'. Vergleiche der Güte der Näherungen auf den verschiedenen Stufen wie auch für die unterschiedlichen Punktmuster werden angestellt, auch für die ausgewählten Teilsysteme und Verteilungstypen. In Abschnitt 5.4 werden die Ergebnisse einer Weiterentwicklung des Konkurrenzmodells besprochen und mit den vorherigen Näherungen verglichen, ohne jedoch auf die Herleitung der Erweiterung einzugehen.

Abschließend soll versucht werden, die Frage zu beantworten:

Was leistet das Modell im konkreten Fall für die Erklärung der Verkehrsverteilung aus geographischer Sicht?

Leider kann nicht der Weg beschritten werden, den Verkehr bestmöglich ohne Modell zu beschreiben, um den 'Zuwachs' an Information nach Modellanwendung messen zu können. Denn sollten auch alle bis dato benutzten Beschreibungsmethoden einer VSM bekannt sein, so ist dennoch kein Konsens über die Art der bestmöglichen Beschreibung zu erzielen. Es muß aber angesichts der Kritik, daß mit Hilfe quantitativer Methoden oft mit Kanonen auf Spatzen geschossen wird, durchaus der Beantwortung der Frage eine gewisse Bedeutung beigemessen werden. Da die Modellhypothese eng an den Raum geknüpft ist, sollten sich doch Ansätze ergeben, die Bilanz tatsächlich aus geographischer Sicht zu führen und sie nicht im Nebel mathematischer Formulierungen verschwinden zu lassen.

5.2 DARSTELLUNG DER ORIGINALMATRIX UNTER AUSGEWÄHLTEN GESICHTSPUNKTEN

Faßt man die wichtigsten Ergebnisse der Beschreibung der Original-VSM in Kapitel 3 zusammen, so ergeben sich folgende Punkte:

- (i) Die Versandaufkommen der Verkehrsbezirke sind von der lokalen Bedeutung und Struktur der Elektrotechnischen Industrie abhängig. Dies gilt auch für den zu betrachtenden Teil des Versandaufkommens, den Wagenladungsverkehr. Es darf jedoch noch einmal darauf hingewiesen werden, daß die lokale Produktionsstruktur nicht zur Verkehrsverteilung des Modells herangezogen wird.
- (ii) Aus (i) und Angaben über die Absatzmärkte der Elektrotechnischen Industrie kann die Berechtigung hergeleitet werden, die ausgewählten VB-Schwerpunkte sowohl als Quellen als auch als Senken anzunehmen.
- (iii) Die raumunabhängigen Versandverteilungen der VB ähneln Γ -Verteilungen. Betrachtet man daraufhin die Zielauswahl der 5 wichtigsten Relationen je VB, so lassen sich starke Nachbarschaftsbeziehungen in zwei Interaktionsblöcken (Baden-Württemberg, Bayern) feststellen.
- (iv) Entsprechend (iii) ist es verständlich, daß die regionale Variation der durchschnittlichen Transportweite als Aufwandsmaß sehr stark von der Punktdichtevariation in der Umgebung der jeweils betrachteten Quelle abhängig ist. Jedoch wird auf Ausnahmen hingewiesen.

Die allgemeinen Aussagen zur beobachteten Verkehrsverteilung sollen zunächst aus der Sicht der Modellanwendung noch ergänzt werden. Wenn das Modell die tatsächlichen Verkehrsströme nachzubilden versucht, so liefert es gleichzeitig Präferenzen der Zielauswahl jedes VB, die in ihrer räumlichen Verteilung der lokalen Widerstandsfunktion entsprechen. Um eine Gegenüberstellung der realen und der modellhaft berechneten Präferenzverteilung vorzubereiten, werden in zwei weiteren Unterabschnitten globale und regional differenzierte Hinweise zur beobachteten Verteilung gegeben.

5.2.1 Hauptverkehrsbeziehungen

In 3.2.5 wurde die größere räumliche Streuung der Versandmengen gegenüber den Empfangsmengen nachgewiesen. Abb. 86 zeigt für Punktmuster 'Süd-VB', daß sich weder die Versandmengen- noch die Empfangsmengenverteilung in die in Kapitel 4 betrachteten Aufkommensvariationstypen einpassen läßt. Vom Fehlen einer erkennbaren raumbezogenen Gesetzmäßigkeit der Verteilungen abgesehen, liegen die jeweiligen Aufkommensschwerpunkte (VB 7,8,14 beim Versand, VB 7,14,20,22 beim Empfang) überwiegend in Zwischenlage, nur vereinzelt im Zentrum. Damit wird auch nicht der Rand-Zentrum-Gegensatz betont, von dem in Kapitel 4 bei Auswahl der Aufkommensvariationen ausgegangen wurde. Dennoch sind die theoretischen Ergebnisse übertragbar, wie noch gezeigt werden wird. Dank der sehr großen Unterschiede im Aufkommen der VB sind in der Umgebung der Versandschwerpunkte hohe räumliche Versandkonkurrenzen, in der Umgebung versandschwacher VB niedrige räumliche Versandkonkurrenzen zu erwarten, die z.T. erheblichen Einfluß auf die modellhafte Verkehrsverteilung der Stufe 3 nehmen können. Dagegen bleibt auf Stufe 5 abzuwarten, wie die regional differenzierten Entfernungsfunktionen bestimmt und verteilt sind.

Neben der Verteilung der Aufkommensmengen beeinflussen auch die verkehrsstarken Relationen indirekt die Modellanwendungen, da sie ausschlaggebend für die TKL als Aufwandsmaß der VB sind. Bei ihrer Betrachtung ergeben sich infolge der Ungleichverteilung der Aufkommensmengen Schwierigkeiten: wann ist eine Relation als aufkommensstark zu bezeichnen? Da eine relative Darstellung der Verkehrsbeziehungen noch folgt (Präferenzen), wird hier eine Entscheidung in bezug auf den Gesamtverkehr getroffen. Berücksichtigt man den 1972 im Untersuchungsgebiet abgewickelten Verkehr, so ergibt sich ein arithmetisches Mittel von 70,2 t je Relation, wobei wie immer der Binnenverkehr ausgeschlossen bleibt.

In Abb. 87 sind alle Relationen ersichtlich, in denen 70,2 t und mehr im Jahre 1972 versandt wurden. Sie umfaßt etwa 23 % aller möglichen Relationen, was nach 5.1 (iii) zu erwarten ist. Da dieser Teil des Verkehrs die größte Bedeutung für aufkommensstarke VB hat, heben diese sich deutlich heraus. Weiter ist der hohe

Abb. 86 Verkehr mit elektrotechnischen Erzeugnissen innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Absolute und standardisierte Versand- und Empfangsmengen

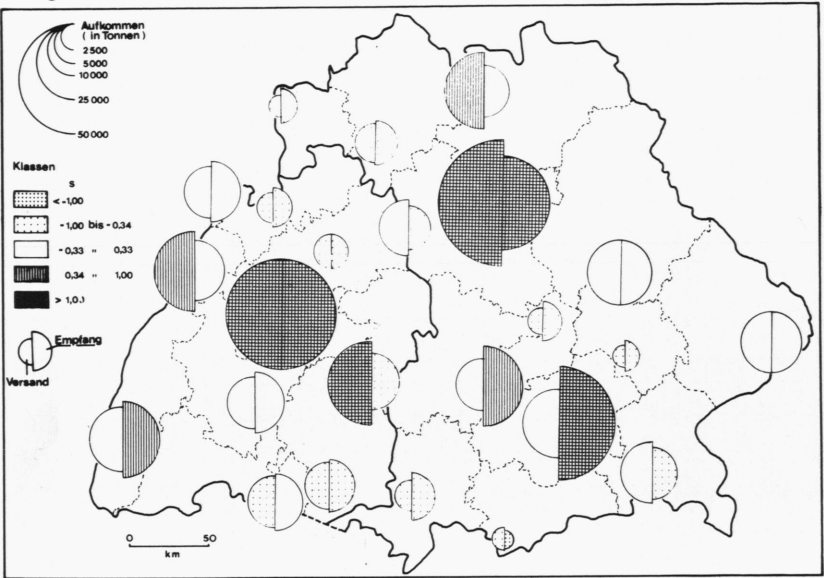
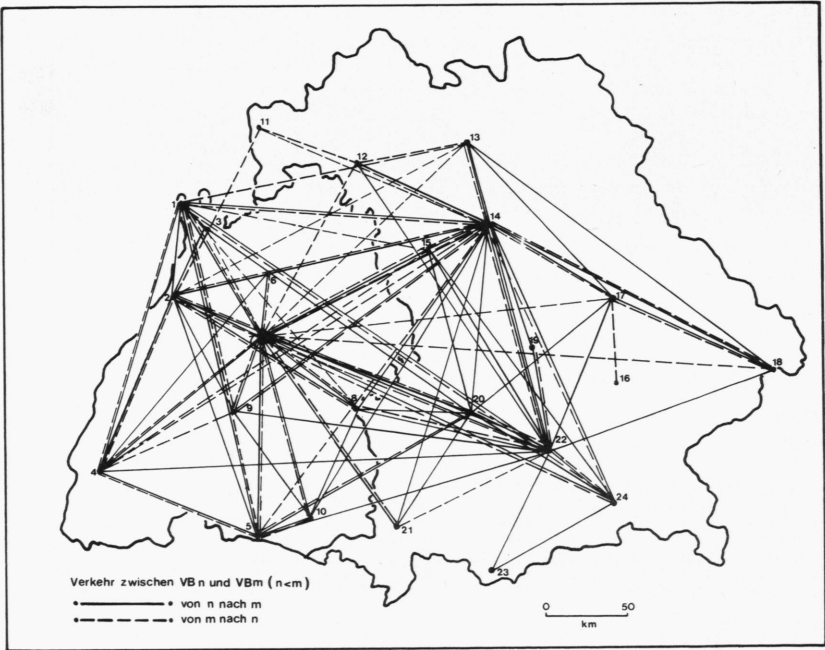


Abb. 87 Verkehr mit elektrotechnischen Erzeugnissen innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Relationen mit mehr als 70,2 t Verkehrsaufkommen



Kartographie E. Ardelean

Anteil paariger Verkehre zu beachten (59% der Relationen $\geq 70,2$ t), welcher ebenfalls mit der Aufkommensverteilung zusammenhängt: aufkommensstarke VB sind eher in der Lage, überdurchschnittliche Empfänge mit überdurchschnittlichen Versandmengen zu beantworten.

Tab. 26 des TA zeigt die Bedeutung des in Abb. 87 dargestellten Verkehrs für die einzelnen Verkehrsschwerpunkte, Abb. 88 die paarigen Relationen, wobei vor allem die Zentren mit insgesamt 33 der 68 paarigen Relationen Hauptquellen und -ziele sind. Außerdem scheinen die paarigen Verflechtungen in Baden-Württemberg wesentlich stärker vertreten zu sein als in Bayern, was noch weiter überprüft wird.

Nachdem die Existenz von aufkommensstarken Verbindungen im gesamten Untersuchungsraum gezeigt werden konnte, was an sich mit der Modellhypothese gut übereinstimmt, wird nun das Augenmerk auf Verbindungen ohne nachgewiesenen Verkehr im Untersuchungsjahr gerichtet ($\leq 0,5$ t). Diese nicht existenten Verkehre sind für das Modell äußerst schwer zu schätzen, sollten sie keine räumliche Verteilung wie nahe der Quelle oder weit ab der Quelle aufweisen. In Abb. 89 sind die entsprechenden Relationen eingezeichnet. Sie umfassen rund 12% aller möglichen Relationen, d.h. auf eine Quelle entfallen durchschnittlich 3 Ziele, mit denen sie keine Verbindung hat. Freilich weist die Abbildung zweierlei aus:

- Quellen mit niedrigem Aufkommen haben einen hohen Anteil an diesen Relationen;
- i.d.R. sind es entfernt gelegene Senken, mit denen keine Interaktion besteht.

Die erste Aussage stützt für den Beispielverkehr das theoretische Ergebnis, daß Entropie und Aufkommen abhängig sind. Wenn die VB zur Γ -Verteilung neigen, dann sollten aufkommensschwache VB niedrigere Entropien haben als aufkommensstarke. Eine diesbezügliche Betrachtung folgt weiter unten.

Entsprechend der Darstellung in Abb. 89 ist sofort ersichtlich, daß innerhalb Baden-Württembergs eine einzige (!) aller möglichen Verbindungen nicht existiert (von VB 8 nach VB 3). Alle anderen von

Abb. 88 Verkehr mit elektrotechnischen Erzeugnissen innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Paarige Relationen mit mehr als 70,2 t Verkehrsaufkommen

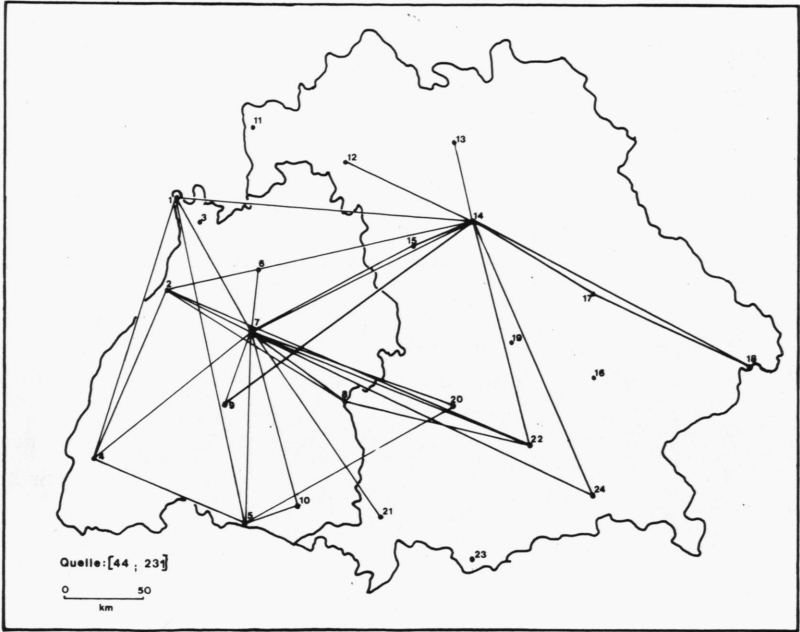
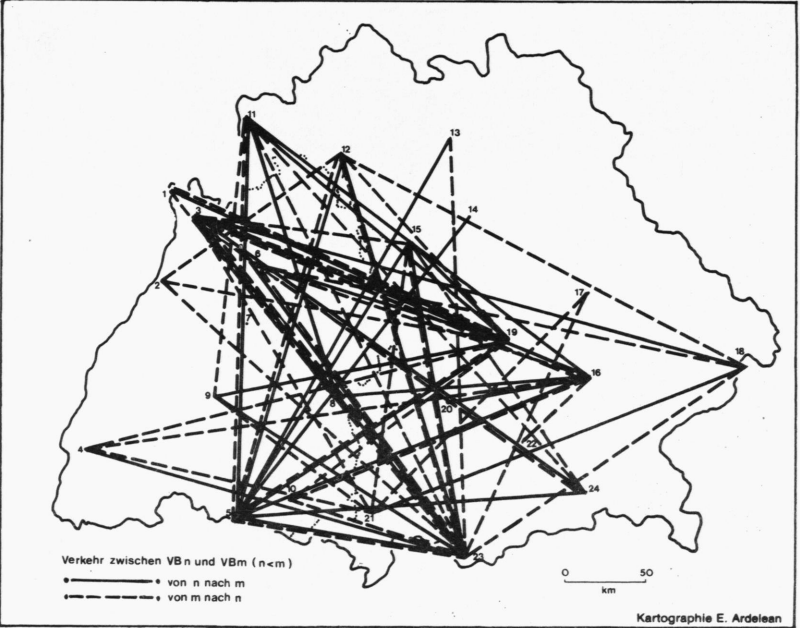


Abb. 89 Verkehr mit elektrotechnischen Erzeugnissen innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Relationen mit weniger als 0,1 t Verkehrsaufkommen



baden-württembergischen VB nicht angesteuerten Ziele liegen in Bayern. Dies läßt sich sicherlich auf die gleichmäßigere Aufkommensverteilung in Baden-Württemberg zurückführen, hat aber auch strukturelle Gründe (Konzernaktivitäten, Produktionsstruktur). Innerhalb Bayerns sind es vor allem Ziele in Nordbayern, die nicht von Quellen in Südbayern bedient werden und umgekehrt. Daneben fehlen Verbindungen vor allem zwischen den Interaktionsblöcken. Daß sich die Entfernungen der nicht existenten Verbindungen von den potentiellen Versandentfernungen unterscheiden, zeigt Tab. 27 des TA.

Tab. 31 gibt für die ausgewählten Teilverkehre einen Überblick über die Beziehungen der beiden Interaktionsblöcke. Für alle drei Kontingenztafeln bestätigt der Test das Vorhandensein von Abhängigkeiten. Sind die Interaktionen in den ersten beiden Tafeln innerhalb der Länder stärker als unter Gleichverteilung zu erwarten, so zeigt die Tafel der fehlenden Verbindungen eine Dominanz der Fälle zwischen den Ländern. Durchgehend neigt Bayern noch eher zur Verteilung gemäß Stufe 1 als Baden-Württemberg. Damit deuten sich doch Unterschiede in der Aufwandsperzeption der einzelnen VB an, die nicht nur von der relativen Lage im Gesamtsystem, sondern auch von der Zugehörigkeit zu einem Interaktionsblock abhängig sind. Man sollte, wie oben erwähnt, nicht vergessen, daß Bayern einen Schwerpunkt in der Unterhaltungselektronik aufweist, so daß eine Verkehrsverteilung gemäß Bevölkerungsverteilung unerschwerlich in die Verkehrsverteilung bestimmter VB mit einfließt. Damit ergeben sich vor allem Chancen für die Modellapproximation auf Stufe 5 und deren Erweiterung. Die Werte für C , C_r und r liegen aber immer noch näher zu 0 als zu 1 (bzw. C_{\max}), so daß die übergeordnete Modellhypothese durchaus ihre Bestätigung finden kann: trotz regional abgegrenzter Präferenzen ist auch eine Tendenz zur Gleichverteilung (Entropiemaximierung) vorhanden.

Tabelle 31

Kontingenztafeln der betrachteten Teilverkehre auf Länderbasis

Relationen $\geq 70,2$ t

	BW	BY	Σ
BW	40 (25)	20 (35)	60 (60)
BY	24 (29)	45 (40)	69 (69)
Σ	64 (54)	65 (75)	129

Testergebnisse

$$\begin{aligned} \chi^2 &= 13,05 \text{ (signifikant)} \\ \chi_r^2 &= 11,81 \text{ 0,005-Niveau} \\ C &= 0,303 \\ C_r &= 0,429 \\ r &= 0,318 \end{aligned}$$

Paarige Relationen $\geq 70,2$ t

	BW	BY	Σ
BW	28 (15)	12 (21)	40 (36)
BY	12 (17)	24 (23)	36 (40)
Σ	40 (32)	36 (44)	76

$$\begin{aligned} \chi^2 &= 10,22 \text{ (signifikant)} \\ \chi_r^2 &= 8,80 \text{ 0,005-Niveau} \\ C &= 0,344 \\ C_r &= 0,486 \\ r &= 0,367 \end{aligned}$$

Relationen ohne nachgewiesenen Verkehr

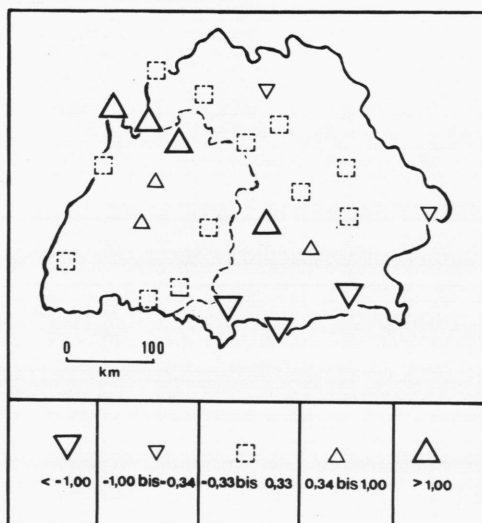
	BW	BY	Σ
BW	1 (14)	20 (18)	21 (32)
BY	27 (15)	20 (21)	47 (36)
Σ	28 (29)	40 (39)	68

$$\begin{aligned} \chi^2 &= 16,63 \text{ (signifikant)} \\ \chi_r^2 &= 14,53 \text{ 0,005-Niveau} \\ C &= 0,443 \\ C_r &= 0,627 \\ r &= 0,494 \end{aligned}$$

 χ^2 : Testgröße des Chi-Quadrat-Tests χ_r^2 : Testgröße des Chi-Quadrat-Tests mit Yates-KorrekturC : Kontingenzkoeffizient; $0 \leq C \leq \sqrt{(k-1)/k} = C_{\max}$;
k: Anzahl der Klassen in Kontingenztafel C_r : C/C_{\max} r : Tetrachorischer Korrelationskoeffizient; $0 \leq r \leq 1$. χ^2 -Test erfolgt gegen Hypothese, daß sich Verkehr wie auf Stufe 1 (Werte in ()) abspielt.

Abschließend soll noch der Zusammenhang zwischen relativer Versandentropie und Versandaufkommen betrachtet werden. Eine durchgeführte Regression weist mit dem Korrelationskoeffizient $r = 0,414$ einen sehr losen Zusammenhang nach, der innerhalb Bayerns stärker ist ($r_{BY} = 0,598$). Betrachtet man daraufhin die standardisierten Residuen in ihrer räumlichen Verteilung, stellt man räumliche Klumpen

Abb. 90 Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Standardisierte Residuen der linearen Regression zur Abhängigkeit von relativer Versandentropie und Versandaufkommen



Kartographie E. Ardelean

von Abweichungen gleichen Vorzeichens und Höhe fest. Baden-württembergische VB neigen offensichtlich zu höheren Entropien, bayerische VB zu niedrigeren (vgl. Abb. 90). Innerhalb Baden-Württemberg fällt das nördliche Produktionsgebiet mit Unterschätzungen auf, in Bayern treten Überschätzungen vor allem am Rand auf. Damit deutet sich an, daß entsprechend der theoretischen Ergebnisse auch die relative Lage des Aufkommens für die Höhe der relativen Versandentropie eine gewisse Rolle spielt.

5.2.2 Wichtige Präferenzrelationen und Teilsysteme

Die in 5.2.1 gewonnenen Ergebnisse leiden naturgemäß unter der unterschiedlichen Bedeutung, die die aufkommensstarken Verkehrsbeziehungen für die einzelnen VB haben. Dennoch sind sie von Wichtigkeit, da sich die Modellapproximation sehr stark an ihnen orientiert. Um eine Relativierung zu erreichen, sollen die Präferenzen der Originalmatrix untersucht werden. Schon durch ihre

Definition ist gewährleistet, daß jede Senke in etwa Präferenzen jeder Höhe empfangen kann. In der Tat sind die Präferenzauflkommen der VB sowohl im Versand als auch im Empfang in ihrer Gesamtheit gleichmäßiger verteilt als die realen Versand- und Empfangsmengen.

Betrachtet man die Präferenzen über 1,2 im Gesamtsystem, so haben diese ähnlich wie die verkehrsstarken Relationen einen Anteil von rund 23%. Auch hier erweisen sich die Verteilungen vom Typ der Γ -Verteilung, wie in 5.2.3 gezeigt wird. Im Unterschied zu Tab. 26 des TA zeigt Tab. 28 des TA einen geringer schwankenden Anteil der hohen Präferenzen am Gesamt-Präferenzversand bzw. -empfang der VB. Dies betrifft auch die Anzahl der von einer Quelle ausgehenden hohen Präferenzbeziehungen. Der Durchschnitt von 5 solcher Verbindungen wird sowohl von real aufkommensstarken als auch aufkommensschwachen VB überschritten, so daß sich die Zentren der Elektrotechnischen Industrie (VB 7, 14, 22) im Versand nicht mehr herausheben, wohl aber im Empfang, wie Abb. 91 ausweist.

Neben dem Zurücktreten der Bedeutung der Zentren ist weiter eine Abnahme der Durchschnittsentfernung festzustellen, die mit einer gegenüber 5.2.1 stärkeren Kontaktarmut zwischen den beiden Interaktionsblöcken für diesen Teil des Verkehrs Hand in Hand geht. Dies bestätigt sich auch für die paarigen Präferenzrelationen dieses Teilverkehrs. Abb. 92 zeigt die 58 Verbindungen (Δ 46% der Präferenzen $\geq 1,2$), in der trotz geringerer Anzahl gegenüber 5.2.1 alle VB verbunden sind, z.T. in einer Art und Weise, die an ein wegesparsames Netz erinnert. Freilich sind hier Netzanalysen sinnlos, handelt es sich ja bei den dargestellten Verbindungen nicht um Kanten eines Weges, sondern nur um Andeutungen von Interaktionen, die über Quelle bzw. Ziel hinaus nicht fortgesetzt werden dürfen. Dennoch zeigt diese Ähnlichkeit, daß es sich bei den paarigen Relationen in vielen Fällen um Nachbarschaftsbeziehungen handelt.

In Tab. 32 finden sich entsprechend Tab. 31 die Kontingenztafeln für die Interaktionsblöcke. Die Tests ergeben ein noch stärkeres Abweichen von der Gleichverteilungshypothese, so daß auch für die hohen Präferenzen von zwei dominanten Interaktionsräumen gesprochen werden kann. Dabei ist zu bemerken, daß nun auch die bayerischen VB

Abb. 91 Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süddeutschlands
im Jahr 1972: Versandpräferenzen über 1,2

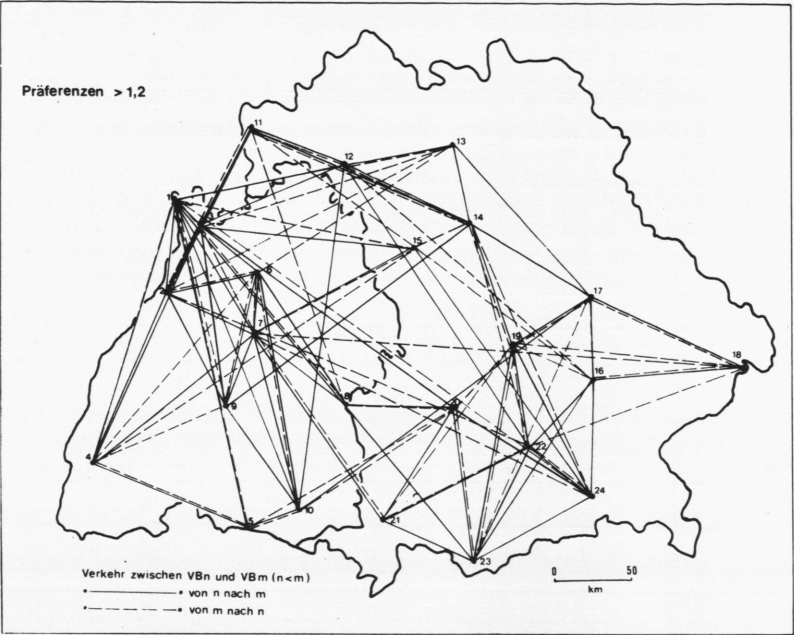
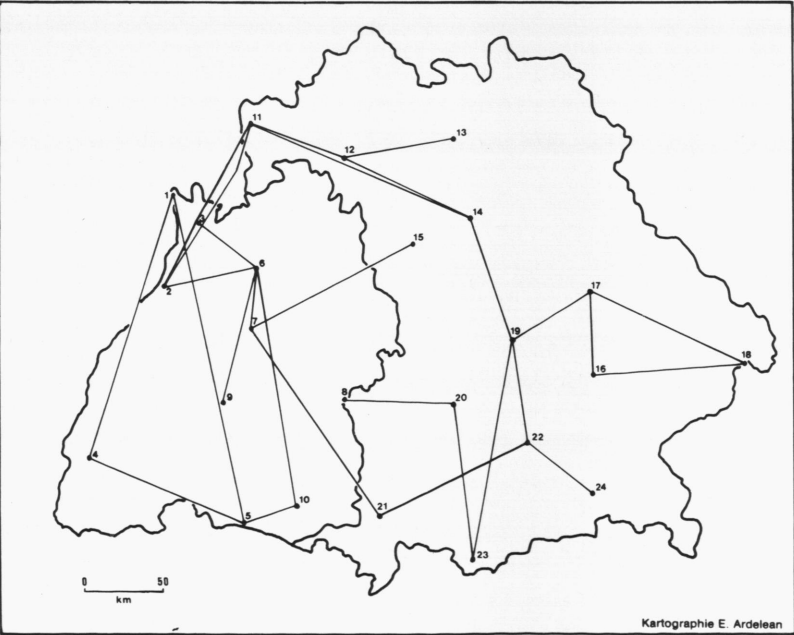


Abb. 92 Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süddeutschlands
im Jahr 1972: Paarige Relationen mit Präferenzen über 1,2



sich ähnlich extrem verhalten wie diejenigen in Baden-Württemberg: vorrangig werden Kontakte hoher Intensität innerhalb des Landes geknüpft.

Tabelle 32

Kontingenztafeln der betrachteten Präferenz-Teilverkehre auf Länderbasis

Präferenzrelationen $\geq 1,2$

	BW	BY	Σ
BW	39 (19)	15 (31)	54 (50)
BY	17 (30)	55 (46)	72 (76)
Σ	56 (49)	70 (77)	126

Testergebnisse

$$\begin{aligned} \chi^2 &= 29,53 \text{ (signifikant)} \\ \chi^2_r &= 27,59 \text{ (0,005-Niveau)} \\ C &= 0,436 \\ C_r &= 0,616 \\ r &= 0,484 \end{aligned}$$

Paarige Präferenzrelationen $\geq 1,2$

	BW	BY	Σ
BW	20 (9)	5 (14)	25 (23)
BY	5 (14)	28 (21)	33 (35)
Σ	25 (23)	33 (35)	58

$$\begin{aligned} \chi^2 &= 24,39 \text{ (signifikant)} \\ \chi^2_r &= 21,82 \text{ (0,005-Niveau)} \\ C &= 0,544 \\ C_r &= 0,769 \\ r &= 0,648 \end{aligned}$$

Testhypothese und Abkürzungen: vgl. Tab. 31.

Welche Bedeutung haben die Ergebnisse für die Modellanwendung? Die Existenz hoher Präferenzbeziehungen auf kurzer Distanz von der Quelle geht mit der Modellhypothese konform. Was allerdings die Existenz von Interaktionsblöcken betrifft, so wird dies kaum auf Stufe 3 berücksichtigt werden können und erst auf Stufe 5 möglicherweise in angenäherter Form reproduziert werden. Diese Information kann ja nur über die regionalen Aufwandsgrößen, d.h. die TKL der VB, in das Modell Eingang finden.

Es fragt sich, ob neben den Interaktionsblöcken noch weitere Teilräume oder Teilsysteme¹ gefunden werden können, in denen der Ver-

1 Unter Teilraum wird ein aus mindestens zwei VB bestehendes, zusammenhängendes Gebiet verstanden; ein Teilsystem muß nicht notwendigerweise zusammenhängend sein.

kehr innerhalb dieser Gebiete (zwischen den beteiligten Verkehrsschwerpunkten) verglichen mit dem Verkehr zu außerhalb gelegenen VB eine größere Bedeutung hat. Wenn ja, wie bestimmt man den Schwellenwert? Da im Verlauf der bisherigen Untersuchung der beobachteten VSM damit gerechnet werden kann, daß im Untersuchungsraum aufgrund regional differenzierter Aufwandsperzeptionen unterschiedliche Verteilungsmuster auftreten, empfiehlt es sich nicht, einen absoluten Wert festzusetzen. Denn dann würden jene Teilsysteme nicht erfaßt, deren aufbauende VB zur Gleichverteilung tendieren, dennoch aber untereinander bevorzugt ihre höchsten Präferenzen austauschen. Beispielsweise könnte ein solches System von den drei Zentren der Elektrotechnischen Industrie (VB 7, 14, 22) gebildet werden.

Folgender raumunabhängiger Test kommt zur Anwendung [*, M 7.6]:

- Aufgabe: Aus den n VB des Untersuchungsgebietes sind m VB ausgewählt, von denen vermutet wird, daß sie untereinander überdurchschnittlich interagieren.
- 1.Schritt: Von jedem der m VB wird der im Teilsystem verbleibende Anteil seines Verkehrs berechnet und das geometrische Mittel¹ aller so bestimmten m Anteile ermittelt.
- 2.Schritt: Nach den Vorüberlegungen ist es sinnvoll, Vergleichsgrößen für das zu untersuchende System heranzuziehen. Hierzu wird angenommen, daß jeder der m VB alle möglichen Verkehrsverteilungen seiner Präferenzen vornehmen kann. Hier wird die 3.Nebenbedingung außer acht gelassen, was für $m < n$ sicher vertretbar ist. Dann läßt sich der maximal mögliche Anteil für jeden VB bestimmen, welcher gerade die Summe der $m - 1$ höchsten Präferenzen ist, bezogen auf seinen Gesamt-Präferenzenverstand.
- 3.Schritt: Bezieht man das unter 1. berechnete geometrische Mittel der realen Anteile auf dasjenige der maximal möglichen Anteile, so hat man eine Testgröße, welche zwischen 0 und 1 schwanken kann. Der Wert 1 wird

¹ Das geometrische Mittel wird 0, falls mindestens ein Anteil 0 ist. Dann ist dieses Teilsystem sinnlos und muß zumindest um den nicht in das Teilgebiet(-system) versendenden VB vermindert werden.

nur dann erreicht, falls die realen mit den maximalen Anteilen übereinstimmen.

4.Schritt: Eine untere Schranke der Testgröße T wird zweckmäßigerweise der Testtheorie der Wahrscheinlichkeitsrechnung entnommen. Analog dem maximalen Anteil kann unter der in 2. getroffenen Annahme für jeden VB i der erwartete Anteil e_i ermittelt werden,¹ ebenso die Streuung σ_i um e_i .

5.Schritt: Die Wahl der Testschranke bleibt dem Anwender freigestellt. Hier wurde für die Testgröße gefordert, daß

$$1 \geq T \geq \max \left(0,5, \sqrt{\frac{m}{n}} (e_i + 1 \sigma_i) \right)$$

gilt.

Bei der Auswahl von VB, die ein Teilsystem bilden, liefert die nach Zielen abnehmender Bedeutung geordnete Präferenzmatrix wertvolle Hinweise. Abgesehen von den schon herausgegriffenen paarigen Relationen, die sich geradezu anbieten, wurden alle möglichen Teilsysteme untersucht, die aus den wichtigsten vier Empfängern eines jeden VB (einschließlich diesem) gebildet werden können. Darüber hinaus wurden aus theoretischen Ansätzen heraus interessante Teilsysteme gebildet und überprüft.

Eine Regionalisierung, d.h. vollständige Aufteilung des Untersuchungsraumes in einander nicht überschneidende Teilgebiete im Sinne von Grigg [98] kann nur dann bei einem Funktionalkriterium erzielt werden, wenn geschlossene Systeme von VB die höchsten Präferenzen untereinander austauschen. Das ist im vorliegenden Fall höchst unwahrscheinlich: selbst innerhalb der Interaktionsblöcke gibt es Einzel-VB, die mit hohen Präferenzen außerhalb liegende Ziele ansteuern. Aber mit Annahme einer niedrigeren Homogenitätsschwelle für Teilsysteme werden Überschneidungen wahrscheinlicher, wobei auch nicht der ganze Untersuchungsraum ausgeschöpft zu werden braucht.

1 Bei nicht bekannten Verteilungstypen der Präferenzverteilungen muß auf parameterfreie Verfahren oder auf mit Hilfe von Zufallsauswahlen gewonnene Annäherungen der Parameter zurückgegriffen werden.

Bevor die Ergebnisse diskutiert werden, sollen die Häufigkeiten des Auftretens der einzelnen VB in den ersten vier Präferenzrelationen einschließlich der Quelle selbst angegeben werden (vgl. Tab. 33).

Tabelle 33

Häufigkeit des Auftretens der VB in den ersten vier Präferenzrelationen (einschließlich der Quelle)

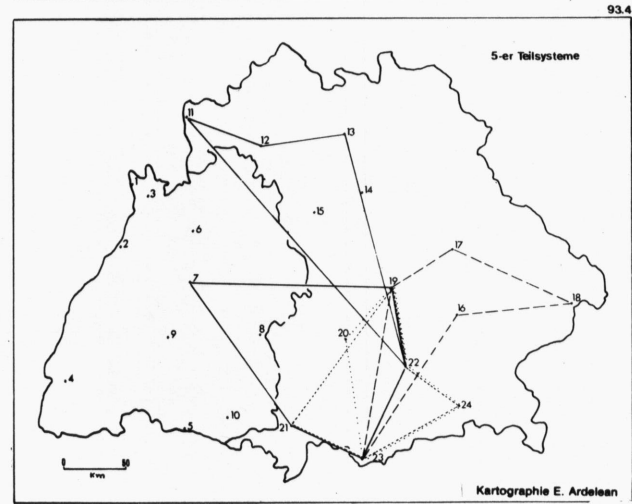
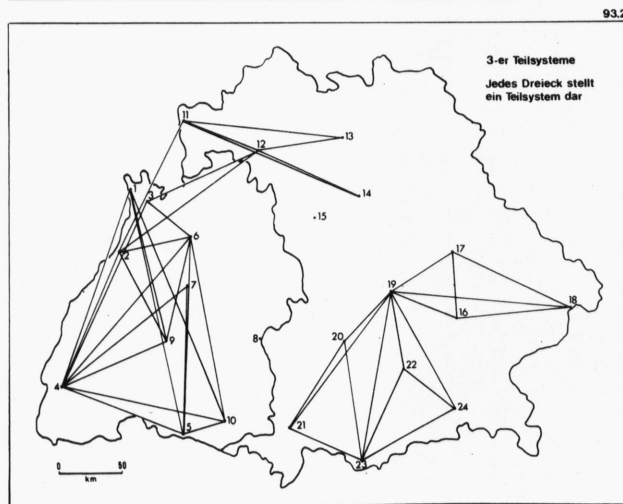
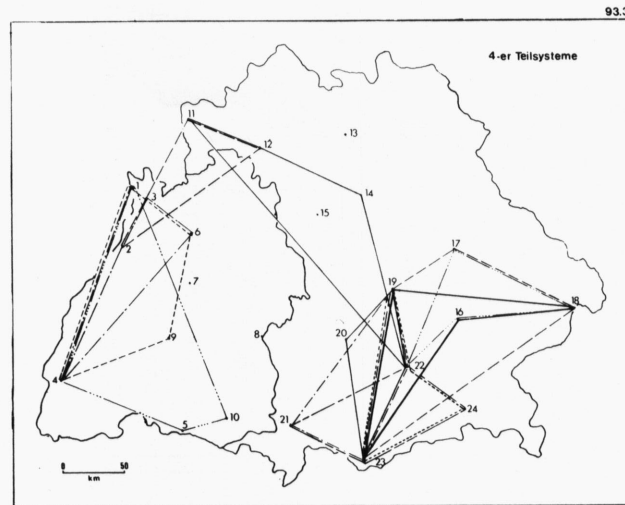
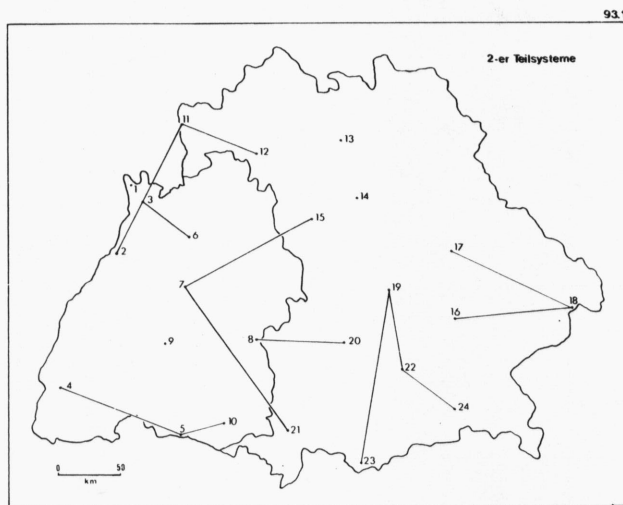
Häufigkeit	VB-Nr.	Σ	BW	BY
2	9	1	1	0
3	8, 13, 15, 21	4	1	3
4	5, 18	2	1	1
5	2, 3, 7, 11, 14, 16, 17, 19, 20	9	3	6
6	4, 6, 10, 12, 23,	5	3	2
7	1, 24	2	1	1
8				
9	22	1	0	1

Die Chancen des Einbezugs in Teilsysteme sind ungleich verteilt, was an den Einzel-VB und deren Attraktivität als Ziel liegt.

Abb. 93.1 zeigt die 13 aufgefundenen Zweier-Teilsysteme, alles paarige Relationen im Sinne von Tab. 32. Hinsichtlich ihres Auftretens ist kein Unterschied zwischen Bayern und Baden-Württemberg festzustellen: in beiden Ländern bleiben je zwei VB unverbunden, die übergreifenden Verbindungen entsprechen in ihrer Anzahl den Erwartungen. Zwei dieser Systeme werden bei Übergang zu Teilsystemen mit drei und mehr VB nicht mehr aufgegriffen: (VB 7, 15), (VB 8, 20).

Schon Abb. 93.2 dokumentiert rein optisch die Existenz von Interaktionsblöcken. Während nur das nördliche baden-württembergische Produktionsgebiet Beziehungen zu Nordbayern unterhält, verbleiben die übrigen Teile beider Länder unverbunden. Zu beachten ist die hohe Verflechtung innerhalb ganz Baden-Württembergs unter Ausschluß von VB 8, wohingegen bei Bayern Nord und Süd getrennt bleibt, nur der Osten Anschluß an den Süden erlangt. Ein Vergleich von er-

Abb. 93 Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Aufgefundene Teilsysteme mit 2 bis 5 einbezogenen VB



warteten und tatsächlich aufgefundenen Teilsystemen bestätigt dies.

Der Übergang von Dreier-Teilsystemen zu jenen mit 4 VB zeigt für Baden-Württemberg keine Veränderungen (vgl. Abb. 93.3). Dagegen erweisen sich nunmehr Norden und Süden von Bayern über VB 22 verbunden. Der Osten ist immer noch stärker mit dem Süden verflochten. Nach wie vor bleiben nur die VB 8 und 15 unverbunden, die länderübergreifenden Teilsysteme nehmen trotz niedriger Homogenitätsschwelle ab.

Erstaunlich nun die Abb. 93.4. Sämtliche Teilsysteme in Baden-Württemberg sind verschwunden, lediglich VB 7 ist mit dem Süden Bayerns verbunden. Hingegen ergeben sich keine Veränderungen in Bayern. Tatsächlich scheint hierfür die Auswahl verantwortlich zu sein. In Baden-Württemberg existieren auch weiterhin Teilsysteme mit 5 und mehr VB. Jedoch sind die einzelnen VB weit stärker über Teilsysteme hinaus miteinander verbunden, so daß die hier verwandte Methode nicht zum Ziel führt. Zusätzliche Tests ergeben, daß

- die Existenz der Interaktionsblöcke auch mit dieser Methode nachgewiesen werden kann (vgl. Tab. 29 des TA);
- darüber hinaus das nördliche und das südliche Baden-Württemberg sowie der Osten und der Süden Bayerns jeweils untergeordnete Teilsysteme bilden;
- die Zentren der Elektrotechnischen Industrie (VB 7, 14, 22) untereinander und 7 bzw. 14 mit ihrem Umland nicht stark verbunden sind.

Festzuhalten ist, daß schon in dieser Stichprobe eine relativ große Zahl überwiegend räumlich zusammenhängender Teilsysteme festgestellt werden konnte, was sich für die Modellapproximation als positiv erweisen kann.

In 3.4.3 wurden 2 Teilsysteme aus dem Untersuchungsraum ausgegliedert, denen aufgrund ihrer Lage im Gesamtraum sowie der dort auftretenden Punktdichte-Variationen besonderes Interesse zukam. Sie sollen zum Abschluß dieses Teilabschnitts hinsichtlich ihrer Präferenzverteilung betrachtet werden.

Das im Nordwesten des Untersuchungsgebietes gelegene Teilsystem I zeichnet sich durch teilweise sehr enge Präferenzverflechtungen aus wie aus Tab. 34 und den Testgrößen aller möglichen Teilsysteme (vgl. Tab. 30 des TA) abzulesen ist. Dabei empfängt der in diesem Teilsystem I zentral gelegene VB 3 die meisten hohen Präferenzen, gefolgt vom randlich gelegenen VB 2. Die VB 6 und 11 sind immer noch gut in das System eingebunden, hingegen wird der hohe Präferenzversand von VB 1 nur unterdurchschnittlich erwidert.

Ganz sicher entspricht diese reale Präferenzverteilung nicht der Modellapproximation auf Stufe 3, da die randlich gelegenen VB untereinander nicht so stark interagieren wie etwa mit dem zentral gelegenen VB 3. Jedoch ist die Verteilung der VB räumlich konzentriert, ein Hinweis auf das Vorhandensein unterschiedlicher Aufwandsperzeptionen, so daß Stufe 5 eine verbesserte Modellapproximation liefern sollte.

Tabelle 34

Ausschnitte aus der Präferenzmatrix der vorgegebenen VSM, die den Teilsystemen I und II entsprechen

	1	2	3	6	11		7	8	15	19	20
1	-	2,02	4,50	0,95	0,86	7	-	3,10	3,66	0,40	0,37
2	0,61	-	3,50	1,26	1,56	8	0,77	-	0,09	0,06	6,00
3	1,16	1,31	-	5,88	4,87	15	1,29	0,06	-	0,00	0,98
6	0,61	2,46	3,57	-	0,90	19	0,06	0,25	0,06	-	0,72
11	0,02	7,71	2,32	0,25	-	20	0,82	1,93	0,27	1,91	-

Im Zentrum des Untersuchungsgebietes liegt Teilsystem II. Es ist gekennzeichnet durch das Fehlen eines zentralen Punktes, was auf Stufe 3 der Modellapproximation zu niedrigerer Konkurrenz als in einem vergleichbaren Punktmuster mit regelmäßiger Punktdichte führt. Auch hier zeigt sich, daß keine Gleichverteilung der Präferenzen existiert, weder hinsichtlich der Stärke, noch hinsichtlich der räumlichen Verteilung (vgl. Tab. 34). Die Haupt-Interaktionsbeziehungen verlaufen randlich, sind z.T. paarig und queren verschiedentlich die Interaktionsblockgrenzen. Da aber die Diagonalverbindungen durchweg unterentwickelt sind, ist dieses Teilsystem

nicht signifikant im Sinne des oben geschilderten Verfahrens (vgl. Tab. 30 des TA). Auch hier kann nur auf Stufe 5 eine gewisse Realitätsnähe der Modellapproximation erzielt werden.

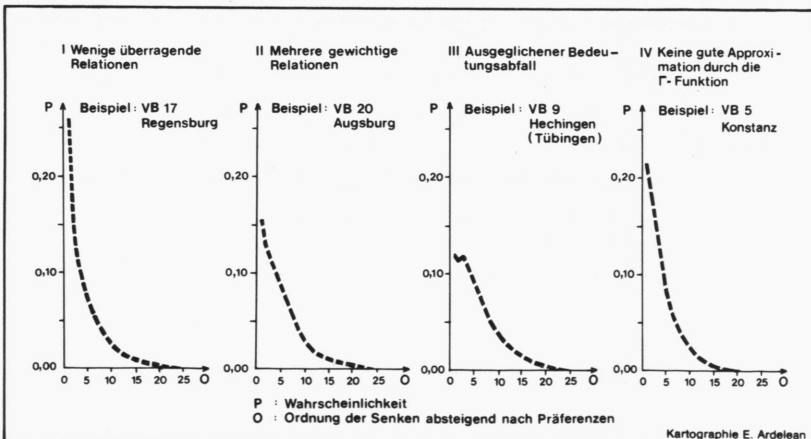
5.2.3 Ausgewählte Verteilungstypen

Während in 5.2.2 die Darstellung des Gesamtsystems versucht wurde, soll hier der Schwerpunkt auf der Betrachtung von Einzel-VB und ihrer Verteilung liegen. Hierzu wird zunächst wie in 3.2.1 der raumunabhängige Verteilungstyp gesucht, welcher für die überwiegende Zahl der Versand-Präferenz-Verteilungen charakteristisch ist. In 20 von 24 Fällen erweist sich wie bei der Gewichtsverteilung auch bei der Präferenzverteilung die Γ -Funktion als akzeptabel. Dabei können folgende Gruppen unterschieden werden:

Gruppe	VB-Nr.	Σ	BW	BY
1	8, 10, 11, 12, 17, 18	6	2	4
2	3, 4, 15, 19, 20, 22, 24	7	2	5
3	1, 2, 6, 7, 9, 13, 14	7	5	2
4	5, 16, 21, 23	4	1	3

Aus jeder Gruppe ist ein VB ausgewählt und sein idealisierter Verteilungsgraph in Abb. 94 dargestellt.

Abb. 94 Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Ausgewählte Typen der Gamma-Funktion bei Approximation der gewichtsmäßigen Versandpräferenzverteilung



In Gruppe 1 sind VB mit wenigen besonders hohen Präferenzen zusammengefaßt, deren überragendes Einzelziel in nächster Nachbarschaft zu suchen ist (vgl. Abb. 91). Zwischen (11,12) und (17,18) bestehen zudem paarige Relationen mit Präferenzen über 2,0 (Abb. 92). Bemerkenswert ist auch die überwiegende Randlage der Gruppenmitglieder.

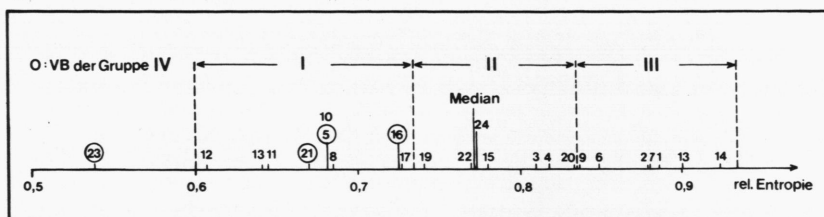
In Gruppe 2 sind VB zu finden, deren Verteilung zwischen den extremen Ungleichverteilungen der Gruppe 1 und jenen mehr zur Gleichverteilung neigenden Varianten der Gruppe 3 stehen. Auch hier gehen viele der hohen Präferenzen in die Nachbarschaft der jeweiligen Quellen. Außer zwei Randlagen sind vor allem VB der zentralen Lage (3 von 4) und ZL vertreten, bspw. auch VB 22, einer der Schwerpunkte der Elektrotechnischen Industrie. Damit deutet sich schon an, daß solche Schwerpunkte auch bei Präferenzen nicht zur Gleichverteilung tendieren müssen.

Gruppe 3 beinhaltet jene VB, die sich durch eine ausgeprägte Tendenz zur Gleichverteilung auszeichnen. Neben den beiden Elektrozentren VB 7, 14 sind noch vier weitere VB von Baden-Württemberg und nur 1 VB von Bayern enthalten. Es wird im weiteren Verlauf zu verfolgen sein, ob diesen raumunabhängigen Verteilungstypen auch raumabhängige entsprechen, die diese regionale Ungleichverteilungen aufweisen.

Gruppe 4 faßt jene VB zusammen, deren Präferenzverteilung nicht vom Typ der r -Verteilung ist, wobei auf das geringe reale Versandaufkommen von VB 16, 21, 23 hingewiesen wird.

Obwohl nicht darauf abgestimmt, ergeben sich hohe Ähnlichkeiten zwischen den einzelnen, den VB zugeordneten Varianten der r -Funktion und der Entropie ihrer Präferenzverteilung. Abb. 95 zeigt, daß die Entropie von Gruppe 1 über Gruppe 2 nach Gruppe 3 zunimmt; die Werte der Gruppe 4 zeigen eine stärkere Ungleichverteilung der Präferenzen dieser VB, verglichen mit dem Verhalten der Mehrzahl der VB im Gesamtsystem.

Abb. 95 Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Zusammenhang zwischen relativer Entropie und Gamma-Funktions-typ der Versandpräferenzverteilung



Kartographie E. Ardelean

Wenn 7 der 10 VB von Baden-Württemberg oberhalb des Median der Entropie-Verteilung liegen, dann kann dafür nicht mehr die u.U. andere VB-Einteilung dieses Landes und die geringere räumliche Streuung der realen Aufkommensmengen verantwortlich gemacht werden, denn die Präferenzen berücksichtigen ja schon per Definition die unterschiedlichen Aufkommensmengen der interagierenden VB. Es verstärkt sich weiter die Vermutung einer räumlich unterschiedlichen Aufwandseinschätzung im Untersuchungsgebiet.

Um sie sichtbar zu machen, sei an die theoretischen Überlegungen in 4.3.3 erinnert. Dort wurden Verkehrsverteilungen im Relativraum dergestalt definiert, daß diejenige ordinale Entfernung k festgelegt wurde, innerhalb deren 50% der Präferenzen einer Quelle versandt werden mußten. Hier steht man vor dem umgekehrten Problem.

Ausgehend von der beobachteten Versand-Präferenz-Verteilung einer Quelle ist die zugehörige Entfernung im Relativraum zu ermitteln, innerhalb deren 50% aller Präferenzen versendet werden.

Es empfiehlt sich zur besseren Unterscheidbarkeit der Einzel-VB, ihre Verkehrsverteilungen nicht durch natürliche (ordinale Entfernungen), sondern durch reelle Zahlen zu charakterisieren [*, M 7.2], wobei die in 4.3.3 definierten Verteilungstypen eingebettet werden. D.h., treten sie in Realität auf, entsprechen ihnen auch bei dieser Bewertung die k -Werte gemäß 4.3.3. Dennoch muß darauf hingewiesen werden, daß in Kapitel 4 eine relativ kontinuierliche Zu- oder Abnahme der Präferenzen mit der Entfernung von der jeweils betrachteten Quelle angenommen werden konnte,

lediglich beeinflußt durch die Ausgleichsfaktoren der räumlichen Konkurrenz. Hier darf dies keinesfalls unterstellt werden. Insofern kann die 'Median-Entfernung' im Relativraum je nach Abhängigkeit der untersuchten Verteilung von der Entfernung eine gute oder weniger gute Charakterisierung darstellen. Dennoch sind die ermittelten Werte vergleichbar, sofern eben nicht im Hintergrund das Bild des Intensitätsabfalls (der Intensitätszunahme) von der Quelle nach außen steht.

Die Berechnungen wurden für die beiden Punktmuster 'Hexagonal' und 'Süd-VB' getrennt durchgeführt, da jeweils andere Entfernungs- und Nachbarschaftsverhältnisse die Ergebnisse beeinflussen. Bei Festlegung der Schwellenwerte für die kartographische Darstellung konnte eine gleichabständige Einteilung erzielt werden, die auch für die noch zu besprechenden Untersuchungen der Modellapproximationen zugrunde gelegt werden konnte. Abweichungen erfolgen dann, wenn es die Verteilung der Werte erfordert.

Abb. 96 zeichnet sich durch mehrere Gruppierungen aus, was dadurch bestätigt wird, daß in nur 4 Fällen (VB 12,14,17,18) keiner der Nachbarn der gleichen Klasse angehört. Bemerkenswert ist, daß sich trotz dieses Umstands die Ländergrenze bis auf (3/11) gut verfolgen läßt; d.h. Gruppierungen greifen nur in einem von 6 möglichen Fällen über sie hinaus.

Betrachtet man Baden-Württemberg, so bestehen im wesentlichen drei Gruppen von (hinsichtlich der Median-Entfernung) ähnlichen VB. Vier der sechs VB des nördlichen Produktionsgebietes haben überdurchschnittliche Median-Entfernungen, nur einer von vier VB des südlichen Produktionsgebietes. In Bayern weist nur der Südwesten eine gewisse Homogenität auf: hier zeigen vier benachbarte VB unterdurchschnittliche Werte. Dagegen ist der Norden charakterisiert durch ein Nebeneinander von VB mit sehr unterschiedlichen Median-Entfernungen.

Keinesfalls kann behauptet werden, daß einem VB aufgrund seiner relativen Lage eine bestimmte räumliche Verteilung der Präferenzen zukäme. Dennoch lassen sich gewisse Tendenzen feststellen, die unten aufgezeigt werden sollen.

Abb. 96 Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süddeutschlands im Jahre 1972: Ordinale Medianentfernung der Versandpräferenzverteilungen unter Zugrundelegung von Punktmuster 'Süd-VB'

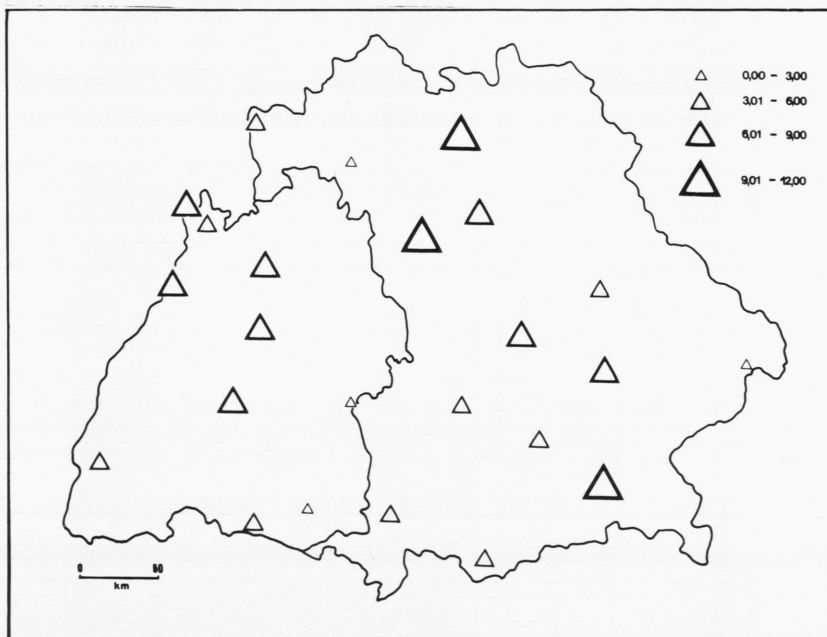
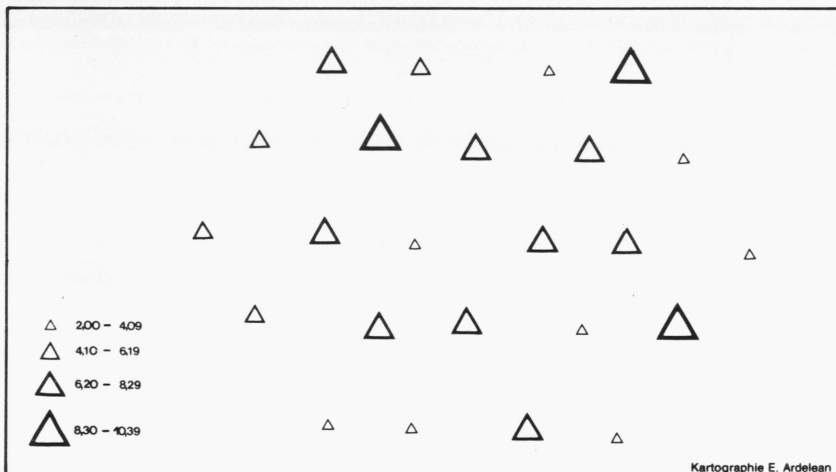


Abb. 97 Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Ordinale Medianentfernung der Versandpräferenzverteilungen unter Zugrundelegung von Punktmuster 'Hexagonal'



Untersucht man die für Abb. 96 vorgenommene Einteilung der Median-Entfernungen in ihrer länderweisen Differenzierung, so entfallen in beiden Ländern etwa gleich viele VB auf die ersten beiden und dritten/vierten Klässen (vgl. Tab. 35). Auch die Aufteilung inner-

halb der unteren Klassen weicht kaum von der erwarteten ab. Jedoch hat Bayern alle VB der höchsten Klasse.

Tabelle 35

Untersuchung der in Abb. 96 vorgenommenen Einteilung der Median-Entfernungen auf Länderebene

Vorgenommene Einteilung

Klasse	BW	BY	Σ
1	2	2	4
2	3	6	9
3	5	3	8
4	0	3	3
Σ	10	14	24

Einteilung bei Gleichverteilung

Klasse	BW	BY	Σ
1	2	2	4
2	4	5	9
3	3	5	8
4	1	2	3
Σ	10	14	24

Gleichverteilung orientiert sich an der Anzahl der VB je Land (10 in BW, 14 in BY).

Der Übergang von Punktmuster 'Süd-VB' zu 'Hexagonal' bedeutet in einigen Fällen einen Wechsel zur nächsthöheren oder -niederen Klasse (Abb. 97). Dadurch ergeben sich neue Gruppierungen, die die oben angesprochene Tendenz jetzt verstärken: relative Lage und Median-Entfernung stehen in einem gewissen, wenn auch losen Zusammenhang (Tab. 36).

Tabelle 36

Median-Entfernung und relative Lage in Abb. 97 im Vergleich mit der Gleichverteilung

Vorgenommene Einteilung

Klasse	R	ZL	Z	Σ
1	4	3	1	8
2	3	1	0	4
3	1	5	3	9
4	2	1	0	3
Σ	10	10	4	24

Einteilung bei Gleichverteilung

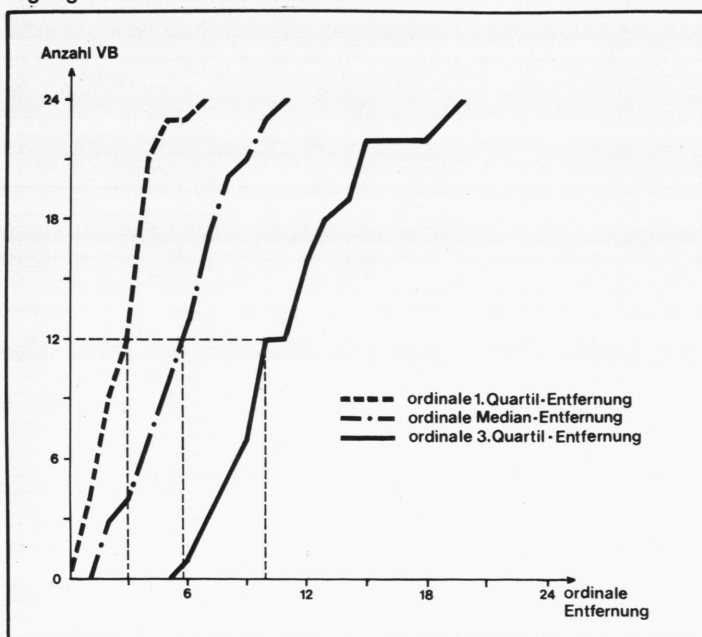
Klasse	R	ZL	Z	Σ
1	3	3	2	8
2	2	2	0	4
3	4	4	1	9
4	1	1	1	3
Σ	10	10	4	24

Gleichverteilung orientiert sich an der Anzahl der VB in den einzelnen räumlichen Gruppen (Rand: 10, ZL: 10, Zentrum: 4).

Man erkennt, daß mehr als erwartet Rand-VB unterdurchschnittliche Median-Entfernungen aufweisen, zentral gelegene VB hingegen überdurchschnittliche. VB in Zwischenlage verteilen sich wie erwartet auf die Klassen.

Faßt man zusammen, so zeigt sich eine sehr große regionale Differenzierung der Median-Entfernungen der Verteilungen im Relativraum, wobei festzuhalten ist, daß kein VB mehr als zwölf nächstgelegene Ziele braucht, um 50% seiner Präferenzen zu versenden. Könnte man die Abhängigkeit der regionalen Verteilung von der Versandentfernung unterstellen, wäre dies ein Hinweis, daß fast alle VB zur Marktbeherrschung tendieren, lediglich die Mitglieder der 4.Klasse zur räumlichen Gleichverteilung.

Abb. 98 Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Kumulierte Kurven der ordinalen Quartil-Entfernungsverteilungen der Versandpräferenzen unter Zugrundelegung von Punktmuster 'Süd-VB'



Kartographie E. Ardelean

Um die Streuung der Versandpräferenzen im Raum zu charakterisieren, kann für jeden VB die Interquartildifferenz berechnet werden (Entfernung, innerhalb der 75 % der Präferenzen versandt werden, minus Entfernung, innerhalb der 25 % der Präferenzen versandt werden) (vgl. Tab. 40/41 des TA). Auch sie lassen den Schluß zu, daß eine

große Vielfalt der Verteilungsmuster besteht. Darüber hinaus kann eine gewisse Bindung der Verteilung an die Entfernung aus den z.T. niedrigen Werten abgeleitet werden. Dies kommt auch in Abb. 98 zum Ausdruck: 12 der 24 VB benötigen 3 (6,10) Senken, um 25% (50%, 75%) ihrer Präferenzen zu verteilen. Unterstellt man Gleichverteilung für alle VB, würden 6 (12,18) Senken benötigt. Und innerhalb dieser Werte liegen alle VB, so daß die oben geäußerte Vermutung der überwiegenden Tendenz zur Marktbeherrschung eine weitere Bestätigung erfährt. Allerdings muß eingeräumt werden, daß der dem Modell innewohnende Zug zur regelhaften Verteilung der Präferenzen im Raum zugunsten einer Selektivität aufgegeben wird.

Dies zeigen deutlich die verschiedenen Gruppenzugehörigkeiten der VB hinsichtlich ihrer Quartil-Entfernungen im Relativraum (vgl. Tab. 40/41 des TA), wobei wieder auf die länderweise Verschiedenheit hingewiesen werden soll: baden-württembergische VB haben jeweils, gemessen am Gesamtsystem, niedrigere 1.Quartil-Entfernungen und hohe 3.Quartil-Entfernungen, wohingegen bayerische VB eine umgekehrte Tendenz zeigen.

Zwei Fragen drängen sich im Zusammenhang mit dem Modell und den bislang erzielten Ergebnissen auf:

- (i) Kann die festgestellte Selektivität in Verbindung mit einer gewissen Abhängigkeit von der Entfernung auch von einer vorhandenen Richtungsorientierung herrühren?
- (ii) Hinsichtlich der Modellanwendung konnte - deutlich beim Hexagonal-Muster - ein gewisser Zusammenhang zwischen relativer Lage und Verteilungsmuster hergestellt werden. Besteht bei der zu betrachtenden VSM auch ein Zusammenhang zwischen realem Aufkommen und Verteilungsmuster? Dies konnte ja für das Modell gezeigt werden.

Zur Klärung von (i) werden für die beobachteten Versand-Präferenzverteilungen der VB die Parameter der S.A.E. berechnet. Sie hängen sehr stark von der relativen Lage der jeweils betrachteten Quelle

ab und müssen demnach vergleichbar gemacht werden. Hierzu wird folgender Weg beschritten:

Relativ-Parameter der S.A.E.

$$F_r = \frac{\text{Fläche der S.A.E. der beobachteten Verteilung}}{\text{Fläche der S.A.E. bei Gleichverteilung, jedoch mit Schwerpunkt der beobachteten Verteilung}}$$

$$\epsilon_r = \frac{\text{Exzentr. der S.A.E. der beobachteten Verteilung}}{\text{Exzentr. der S.A.E. bei Gleichverteilung, jedoch mit Schwerpunkt der beobachteten Verteilung}}$$

$$d_r = \frac{\text{Entfernung des Schwerpunktes der beob. Vert. von Quelle}}{\text{Entfernung des Schwerpunktes bei Gleichverteilung von Quelle}}$$

$$\gamma_r = \begin{array}{l} \text{Winkel der Hauptachse der S.A.E. der beobachteten Ver-} \\ \text{teilung minus} \\ \text{Winkel der Hauptachse der S.A.E. bei Gleichverteilung} \end{array}$$

Zur Interpretation dieser Relativ-Parameter sei folgendes angemerkt:

$$F_r < 1, \text{ falls räumliche Streuung geringer als unter Gleichverteilung;}$$

$$\epsilon_r \begin{cases} > 1, & \text{falls Richtungsorientierung gegenüber Gleichverteilung zunimmt,} \\ < 1, & \text{falls Richtungsorientierung gegenüber Gleichverteilung abnimmt;} \end{cases}$$

$$d_r < 1: \text{ Anzeichen für eine Tendenz zur Marktbeherrschung;}$$

$$\gamma_r : \text{ gibt Winkel und Richtung an, in die sich die Hauptachse der S.A.E. bei Übergang von Gleichverteilung zur beobachteten Verteilung dreht.}$$

Tab. 42 des TA zeigt die relativen S.A.E.-Parameter, wobei deutlich wird, daß

- mit Ausnahme von VB 24 eine Tendenz zur Marktbeherrschung feststellbar ist, falls die räumliche Gesamtverteilung der Versandpräferenzen betrachtet wird,
- die räumliche Streuung um den Schwerpunkt der Verteilung durchweg geringer ist als unter Gleichverteilung,
- jedoch in 1/3 aller Fälle eine größere Richtungsorientierung als im Gleichverteilungsfall besteht.

Abb. 99 Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Charakterisierung der Versandpräferenzverteilungen mit Hilfe der Parameter F_v , d_v der S.A.E.

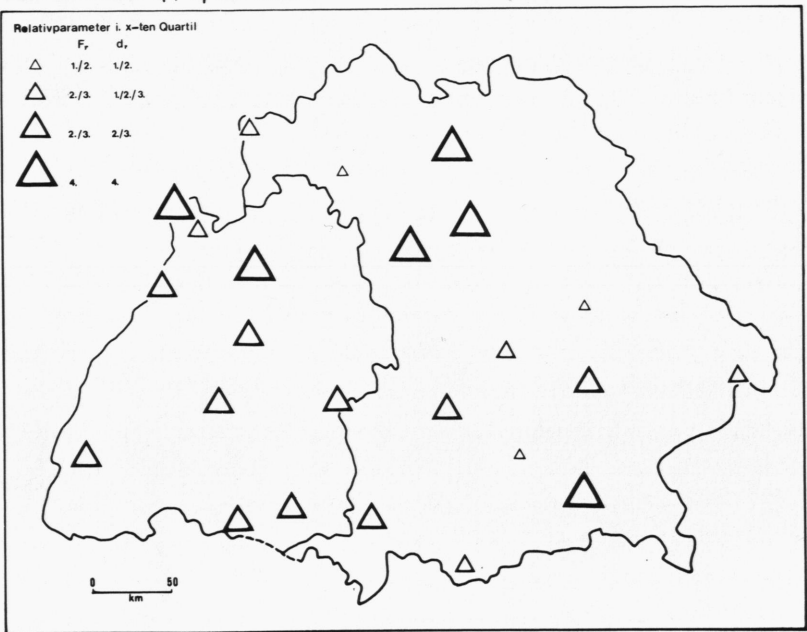
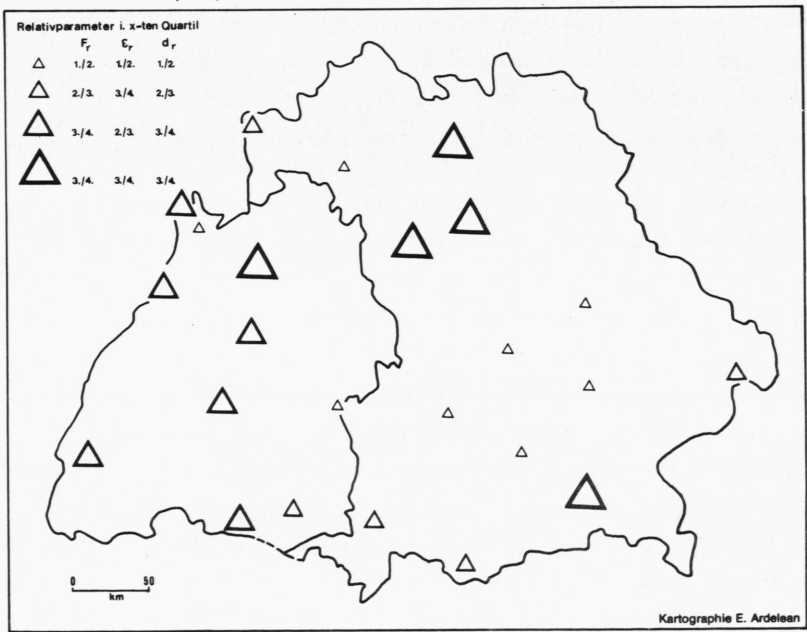


Abb. 100 Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972: Charakterisierung der Versandpräferenzverteilungen mit Hilfe der Parameter F_v , d_v , ϵ_v der S.A.E.



Untersucht man diese acht VB hinsichtlich ihrer Charakterisierung durch die Parameter der S.A.E. näher, dann fällt in der Hälfte der Fälle (VB 6,13,14,24) die ausgeprägte Richtungsorientierung mit hohen F_r und d_r -Werten zusammen. Damit ist gezeigt, daß Richtungsorientierung nicht notwendigerweise mit geringer räumlicher Streuung und extremer Tendenz zur Marktbeherrschung gekoppelt sein muß, daß sie vielmehr Ursache der festgestellten Selektivität sein kann, aber nicht sein braucht. Sie erweist sich also ebenfalls als individuelles Element mit räumlicher Differenzierung.

Abb. 99 zeigt die Charakterisierung der Verteilungsmuster der VB mit Hilfe der Parameter F_r , d_r der S.A.E. Vergleicht man sie mit Abb. 96, so fallen Gemeinsamkeiten, aber auch beträchtliche Unterschiede auf. I.a. wird man der letzteren Kennzeichnung der VB den Vorzug geben, da sie aus einem 2-dimensionalen Ansatz heraus entwickelt ist und somit die räumlichen Unterschiede in den Verteilungen viel stärker einfängt, als dies mit der Angabe der Median-Entfernung möglich wäre. Zudem können die Relativ-Parameter verglichen werden, ohne daß ein bestimmtes Verteilungsmuster im Hintergrund stünde.

Zwischen F_r und d_r besteht ein gewisser Zusammenhang, der sich in dem Korrelationskoeffizient einer Einfach-Regression von 0,53 widerspiegelt. Dies erleichtert die Klassenbildung für die Abb.99. Nimmt man ϵ_r hinzu, was kaum Abhängigkeiten von F_r oder d_r erkennen läßt, so werden die für Abb. 100 gebildeten Klassen inhomogener.

Zur Beantwortung von (ii) kann es bei Betrachtung der Originalmatrix nicht genügen, einen Zusammenhang zwischen Entropie und realem Versandaufkommen herzustellen, denn anders als bei der modellhaften Verkehrsverteilung ist die Entropie nicht mehr Maß einer räumlich einheitlich strukturierten Verkehrsverteilung. Also muß auch hier auf einen entsprechenden Parameter (F_r) der S.A.E. zurückgegriffen werden. Das Ergebnis der Einfachregression zwischen Aufkommen und räumlicher Streuung, gemessen in Werten von F_r , bestätigt nicht die Vermutung, daß beide Größen im vorliegenden Fall linear abhängig sind ($r=0,33$), wenngleich auf Einzelfälle hingewiesen werden kann.

Ausgewählte Verteilungsmuster

Die verschiedenen Charakterisierungen der Versand-Präferenz-Verteilung der VB sollen nun herangezogen werden, um eine Auswahl von exemplarisch zu betrachtenden Mustern zu treffen. Hierzu werden die Klasseneinteilungen der Abb. 86, 96, 97, 100 und die Einteilung der VB nach räumlichen Gruppen zum mengentheoretischen Durchschnitt gebracht, was nachfolgend in vier Schritten dargestellt ist. Die jeweils erzielten Durchschnitte enthalten jene VB, unter denen weiter ausgewählt wird.

- 1.Schritt: Auswahl nach Median-Entfernungen im Relativraum unter Berücksichtigung beider Punktmuster (Schnitt der Klassen von Abb. 96 mit entsprechenden der Abb. 97)

Klasse	Hex \cap Süd	Hex \setminus Süd	Süd \setminus Hex
1	8,10,12,18	5,17,22,23	
2	3, 4,11	2	5,17,20,21,22,23
3	1, 7, 9,14,16,19	15,20,21	2, 6
4	13,24	6	15

Bemerkung: Um die Einflüsse des Punktmusters auf die Auswahl nach Median-Entfernungen möglichst gering zu halten, werden die Einteilungen nach Süd-VB (Abb. 96) und Hexagonal (Abb.97) miteinander verglichen. Der Durchschnitt der Klassen wird in die engere Wahl gezogen.

- 2.Schritt: Zusätzliche Auswahl nach Relativ-Parametern der S.A.E. (Schnitt des Durchschnitts des 1.Schritts mit den in Abb. 100 ausgewiesenen, nach F_r gereihten Klassen)

Klasse	Median \cap Rel.Par.	Med. \setminus Rel.Par.	Rel.Par. \setminus Med.
1	8,12	10,18	3,16,17,19,20,22
2	11	3, 4	10,18,21,23
3	1, 7, 9	14,16,19	2, 4, 5
4	13,24		6,14,15

Bemerkung: Die Relativ-Parameter der S.A.E. spiegeln die regionalen Besonderheiten der Verteilungen wesentlich besser wider, so daß sie mit Vorteil für die weitere Auslese herangezogen werden. Die hinsichtlich F_r -Werte gereihten Klassen der Abb. 100 sind mit jenen der nach Median-Entfernung im Relativraum gebildeten vergleichbar. Der Durchschnitt einander entsprechender Klassen wird im folgenden Schritt wieder berücksichtigt.

3.Schritt: Aufgliederung der im 2.Schritt gewonnenen Klassen des Durchschnitts nach relativer Lage

Klasse	Z	ZL	R
1	8	12	
2		11	
3		7, 9	1
4			13, 24

Bemerkung: Es kann nach den obigen Ergebnissen davon ausgegangen werden, daß die relative Lage der VB auf die Präferenz-Verteilung einen gewissen Einfluß hat. Deshalb wird eine Kennzeichnung der zur Auswahl stehenden VB nach ihrer Lage im Untersuchungsgebiet angestrebt.

4.Schritt: Einbezug des realen Versandaufkommens

Klasse	Z	ZL	R	Auswahl
1	8 (4)	12 (2)		8
2		11 (1)		11
3		7 (4), 9 (2)	1 (2)	2
4			13, 24 (3)	24

Zusatz: Keine Γ -Verteilung 16

- (4) : Versandaufkommen im 4.Quartil
- (3) : Versandaufkommen im 3.Quartil
- (2) : Versandaufkommen im 2.Quartil
- (1) : Versandaufkommen im 1.Quartil

Bemerkung: Die obenstehend getroffene Auswahl berücksichtigt auch das reale Versandaufkommen der VB, das generell keinen, in Einzelfällen jedoch sehr wohl Einfluß auf die Verteilungsmuster nimmt. Zusätzlich findet noch ein Vertreter jener VB Berücksichtigung, deren Präferenzverteilungen nicht vom Γ -Typ sind.

Zur Darstellung der Versand-Präferenzverteilungen der ausgewählten VB werden Isolinienkarten und diskrete Verteilungskarten mit der jeweiligen S.A.E. sowie die zugehörigen statistischen Parameter 2-dimensionalen Verfahren herangezogen (vgl. Abb. 101 - 105 und Tab. 38). Zuvor sollen jedoch die Parameter der raumunabhängigen 1-dimensionalen Verteilung besprochen werden (vgl. Tab. 37).

Tabelle 37

Einige statistische Kennzahlen der Versandpräferenzverteilung ausgewählter VB

Statist. Kennzahlen	V B				
	8	11	16	1	24
\bar{x}	0,68	1,31	1,43	1,20	0,54
s	1,24	2,32	2,03	1,12	0,68
v	1,83	1,77	1,43	0,93	1,28
1.Quartil	0,05	0,10	0,00	0,41	0,05
Median	0,21	0,26	0,57	0,78	0,29
3.Quartil	0,76	0,88	1,62	1,45	0,52
3.Qu. - 1.Qu.	0,71	0,78	1,62	1,01	0,47
max	6,00	8,50	7,49	4,50	2,19
min	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
range	6,00	8,50	7,49	4,50	2,19
Parameter					
Γ -Funkt.					
p	1,05	1,02	1,49	1,51	1,40
b	0,26	0,30	0,36	0,22	0,29
χ^2 -Test					
(Signifikanz- niveau)	0,75	0,25	0,99	0,05	0,05
Entropie	0,68	0,65	0,73	0,89	0,77

Auffallend sind die niedrigen Quartil-Werte, welche noch einmal die z.T. ausgeprägte Γ -Verteilung bestätigen. Zu beachten ist auch der niedrige Median-Wert von VB 24 und die niedrige Interquartil-Differenz. Tatsächlich hat VB 24 das niedrigste arithmetische Mittel, den niedrigsten maximalen Wert, jedoch nur die zweithöchste Entropie. Denkt man sich die VB in etwa (Ausnahme 16) nach aufsteigender Median-Entfernung gereiht, dann tendieren die Vertreter jener VB mit größeren Median-Entfernungen zu niedrigerem arithmetischem Mittel, Standardabweichung und Maximalwert sowie höherer Entropie.

Bezieht man nun bei der Beurteilung der Versandpräferenzverteilung den Raum mit ein, so stellt das Muster von VB 8 den Typ der Marktherrschaft dar: extrem hohe Präferenzen in unmittelbarer Nachbarschaft mit steilem Abfall nach allen Seiten (vgl. Abb. 101). Lediglich zu VB 14 und dem nördlichen baden-württembergischen

Produktionsgebiet bestehen noch geringe bis starke (VB 1) Beziehungen. Freilich zeichnet die Isolinien-Darstellung dieses Bild sehr pointiert [Nordbeck; 180], jedoch wird auch durch die diskrete Darstellung der wiedergegebene Eindruck bestätigt.

Median-Entfernung sowie absolute Fläche der S.A.E. sind vergleichsweise niedrig, der Repräsentationsgrad der S.A.E. ist mit 41,8% sehr hoch. Man beachte, daß die beiden räumlichen Charakterisierungen die Eigenart der Verteilung recht gut einfangen: der weite Abstand der 3.Quartil-Entfernung von der niedrigen Median-Entfernung deutet für den in zentraler Lage befindlichen VB 8 ebenso auf eine eng umgrenzte, bevorzugte Umgebung hin wie die schon erwähnte geringe Fläche der S.A.E. und der nahe der Quelle gelegene Schwerpunkt der Präferenzverteilung. Durch den Übergang von absoluten zu relativen Parametern der S.A.E. wird deutlich, daß die recht hohe Exzentrizität durch die Punktverteilung um die betrachtete Quelle hervorgerufen ist, weniger durch eine Richtungsorientierung bei der Präferenzverteilung.

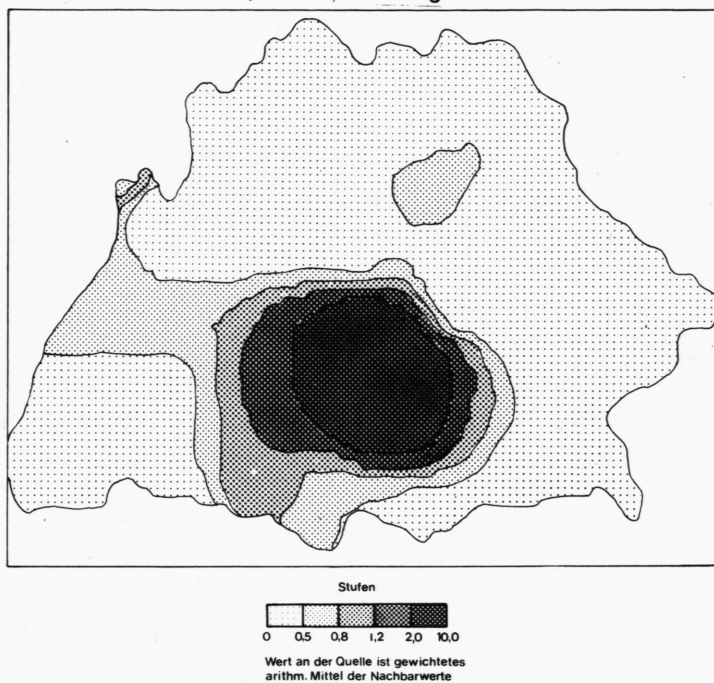
Tabelle 38

Statistische Kennzahlen zur räumlichen Versandpräferenzverteilung der ausgewählten VB

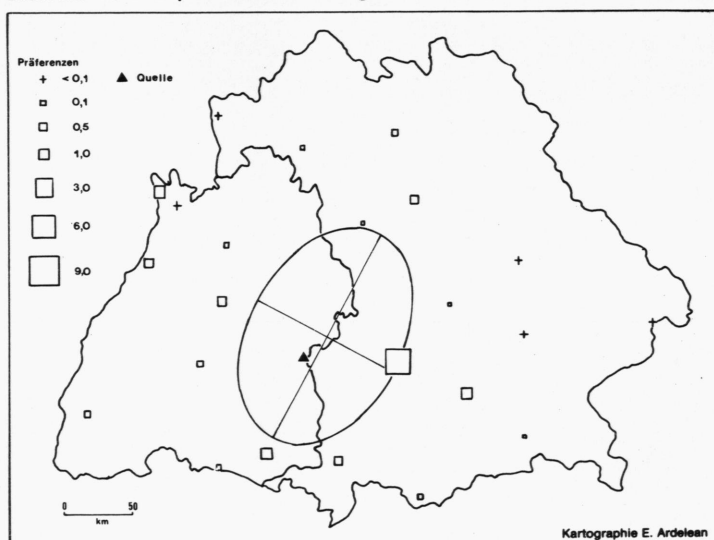
Statist. Kennzahlen	V B				
	8	11	16	1	24
S.A.E. (absolut)					
F	26,145	27,831	40,522	41,569	34,411
ϵ	0,747	0,521	0,826	0,483	0,847
d	1,239	4,843	3,526	6,015	9,102
Repräsentationsgrad (relativ)					
F_r	0,513	0,465	0,652	0,757	0,733
ϵ_r	0,943	1,145	0,999	0,766	1,228
d_r	0,67	0,68	0,60	0,90	1,30
Distanzen im Relativraum					
1.Quartil	1,42	0,81	3,69	1,93	3,69
Median	2,15	4,35	7,80	7,35	10,76
3.Quartil	8,82	8,16	9,03	14,22	18,22
3.Qu. - 1.Qu.	7,40	7,35	5,34	12,29	14,52

Abb. 101 Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süd-deutschlands im Jahre 1972: Versandpräferenzverteilung der Quelle 8 Ulm; diskret und kontinuierlich

Kontinuierliche Versandpräferenzverteilung



Diskrete Versandpräferenzverteilung



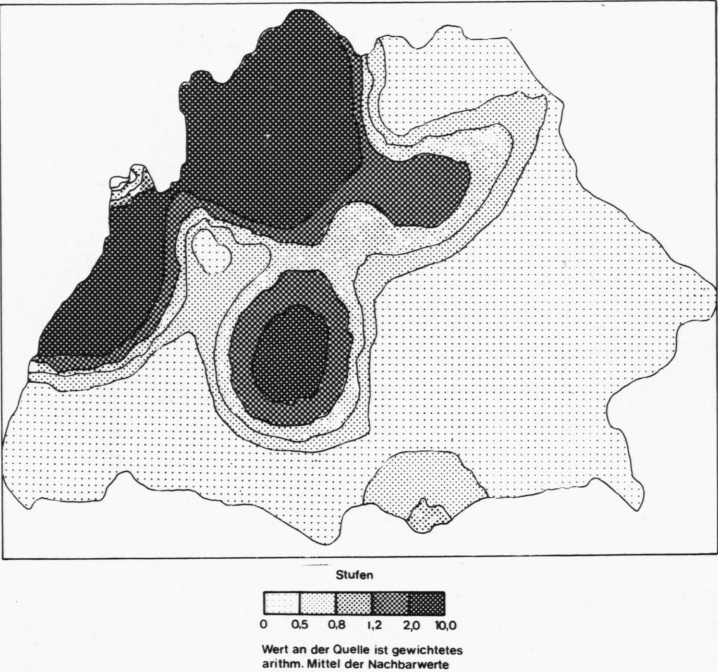
Wendet man sich nun VB 11 zu, bedeutet dies ein Wechsel des Standorts von zentraler in randnahe Zwischenlage, wobei das reale Aufkommen von VB 8 bei weitem jenes von VB 11 übertrifft. Die Median-Entfernung nimmt zu, was nicht nur - wie Abb. 96 zeigt - ein Effekt der Randlage ist, sondern auch auf einer starken räumlichen Selektivität der hohen Präferenzrelationen beruht (Abb. 102). Die Tendenz zur Marktbeherrschung ist durchaus noch erkennbar; jedoch schieben sich aus dem unterfränkischen Nachbarraum um die Quelle zwei Finger in das nördliche baden-württembergische Produktionsgebiet sowie ein Finger in den mittelfränkischen Raum. Zusammen mit dem isoliert gelegenen Ziel VB 23 umfassen diese Gebiete schon alle nennenswerten Präferenz-Relationen, die von VB 11 ausgehen. Auch hier ist wieder der scharfe Abfall zu den Restgebieten des Untersuchungsgebietes zu beachten.

Der Wert der S.A.E. im allgemeinen und der relativen Parameter im besonderen zur Beurteilung einer räumlichen Verteilung unabhängig von der relativen Lage der Quelle wird deutlich, wenn nun festgestellt werden kann, daß die relative Streuung diejenige von VB 8 noch unterbietet und der relative Abstand des Schwerpunktes der Verteilung des VB 11 von der Quelle dem bei VB 8 entspricht. Die absolute Exzentrizität bestätigt überdies die gleichmäßige Verteilung der Präferenzen um den Schwerpunkt, was in der kreisähnlichen Form der S.A.E. zum Ausdruck kommt.

Der Übergang von einem relativ geschlossenen Gebiet hoher Präferenzen um die Quelle zu einer Zweiteilung dieses Gebietes, wie es im Muster von VB 16 vorliegt, deutet sich schon in der recht hohen Median-Entfernung und des größeren Abstands zur 1.Quartil- als zur 3.Quartilentfernung an. Betrachtet man Abb. 103, fällt die Beschränkung des in zentrumsnaher Zwischenlage befindlichen VB 16 auf bayerische Ziele auf. Weiter ist festzustellen, daß in beiden Zielgebieten etwa gleiche Anzahl von extrem hohen und überdurchschnittlichen Präferenzen vorhanden sind, wobei die Trennung der Gebiete durch Senken mit extrem niedrigem Präferenzempfang von Quelle 16 erfolgt. Also auch innerhalb des Interaktionsblocks eine ausgesprochene Selektivität in der Zielauswahl.

Abb. 102 Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süddeutschlands im Jahre 1972: Versandpräferenzverteilung der Quelle 11 Aschaffenburg; diskret und kontinuierlich

Kontinuierliche Versandpräferenzverteilung



Diskrete Versandpräferenzverteilung

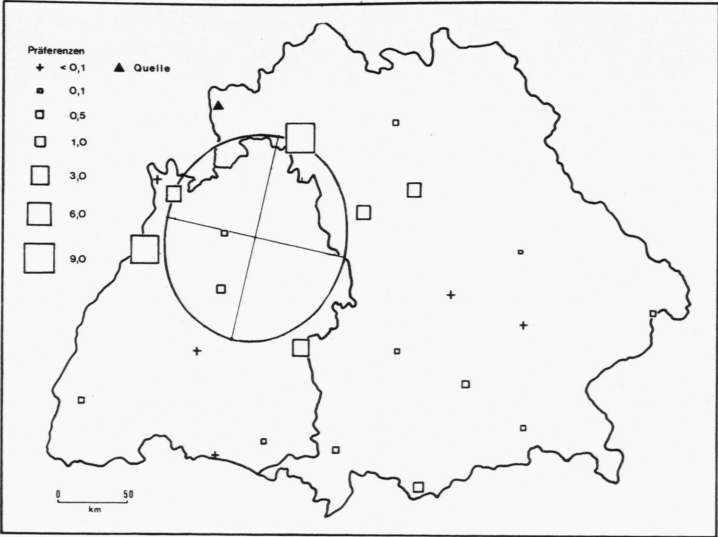
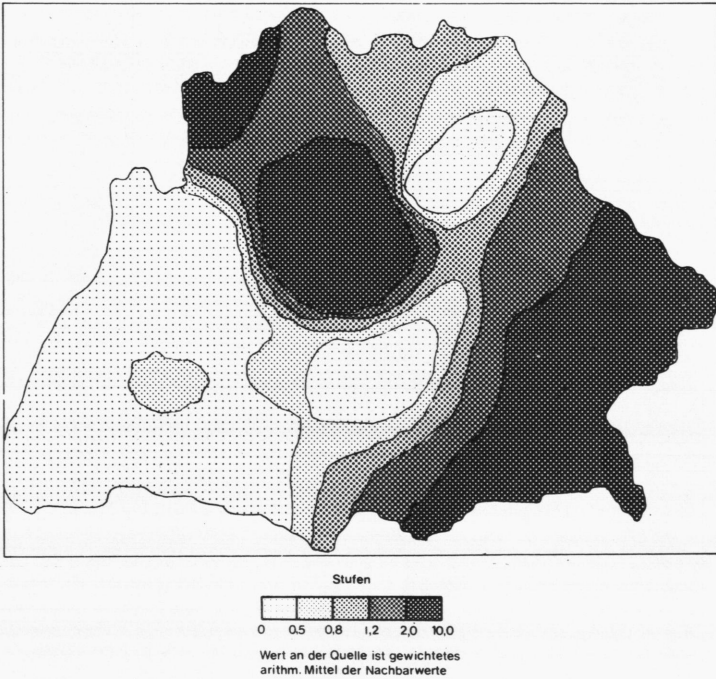


Abb. 103 Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süd-deutschlands im Jahre 1972: Versandpräferenzverteilung der Quelle 16 Landshut; diskret und kontinuierlich

Kontinuierliche Versandpräferenzverteilung



Diskrete Versandpräferenzverteilung

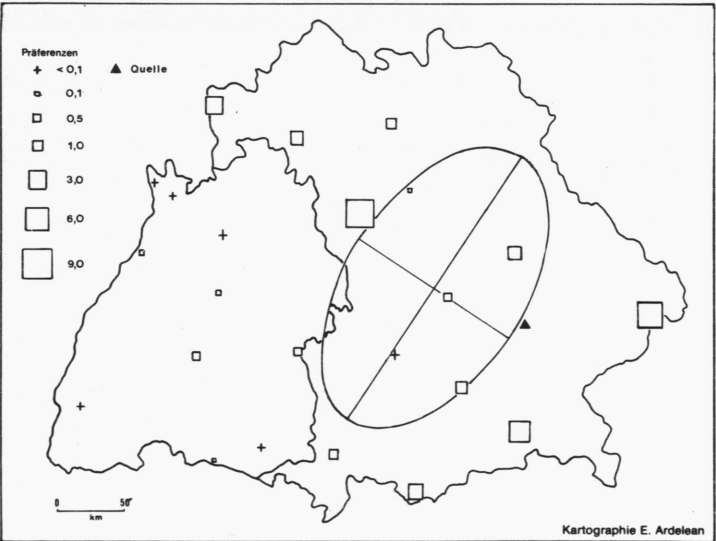
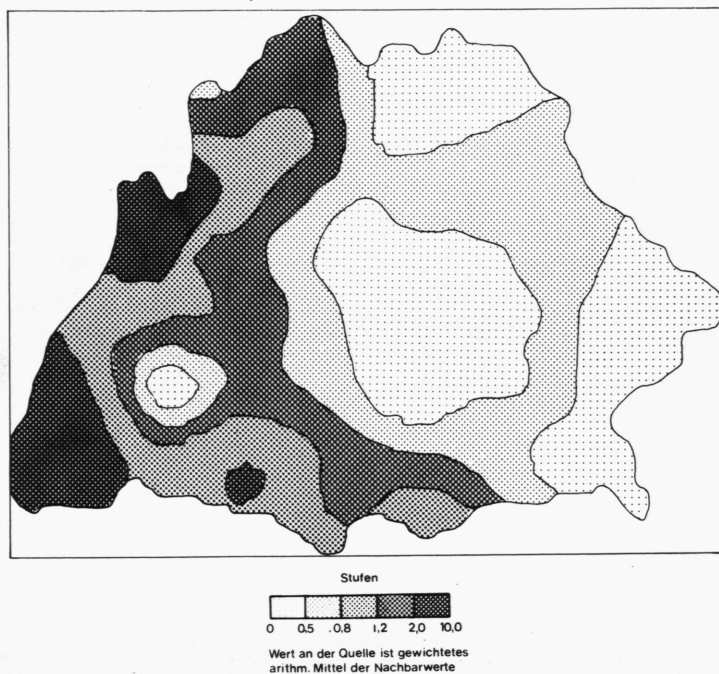
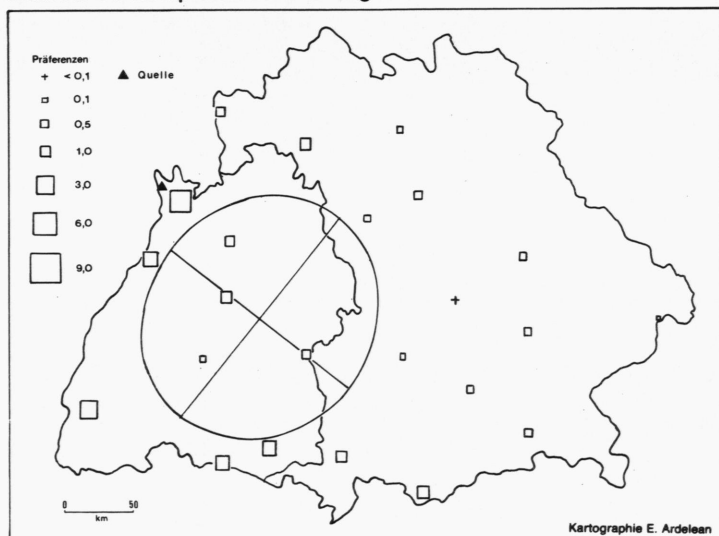


Abb. 104 Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süd-deutschlands im Jahre 1972: Versandpräferenzverteilung der Quelle 1 Mannheim; diskret und kontinuierlich

Kontinuierliche Versandpräferenzverteilung



Diskrete Versandpräferenzverteilung



Die hohe absolute Streuung ist z.T. lagebedingt, wie ein Vergleich von F und F_r zeigt, ebenso die hohe Exzentrizität (Richtungsorientierung). Wenig aussagekräftig erweist sich der relative Abstand d_r : da eine Zweiteilung vorliegt, kommt der Schwerpunkt der Präferenzverteilung nahe zur Quelle zu liegen, was jedoch nicht als Tendenz zur Marktbeherrschung gedeutet werden darf.

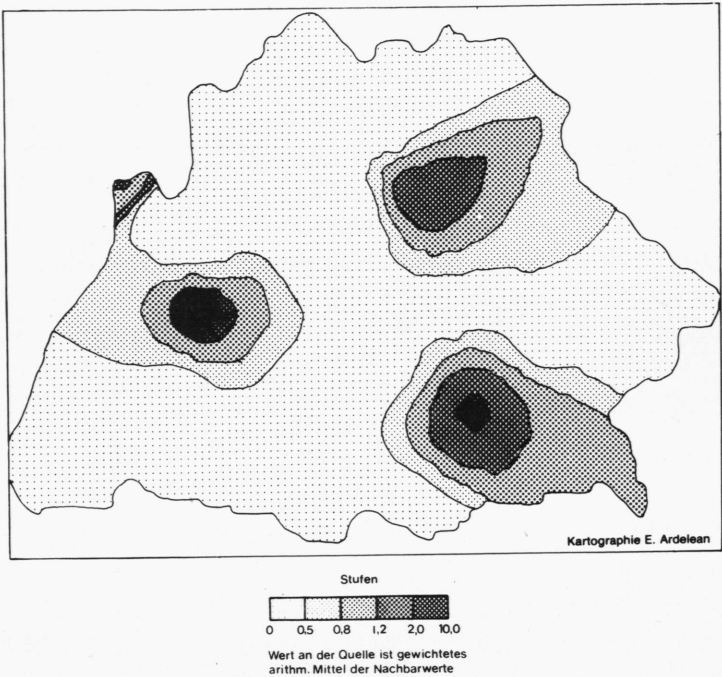
Eine gegenüber VB 16 geringfügig verminderte Median-Entfernung, jedoch einen doppelt so hohen Interquartilabstand mit nahezu gleichweit vom Median entfernten 1. und 3.Quartilen weist VB 1 in randlicher Lage auf. Abb. 104 zeigt die weitergehende Aufsplitterung des Gebietes hoher Präferenzen, welches sich im wesentlichen in Baden-Württemberg befindet. Ausläufer erreichen Unterfranken und Südwest-Bayern. Jedoch sollte der allmähliche Abfall zum Restgebiet hervorgehoben werden, was nicht zuletzt auf bayerische Senken mit zwar niedrigen, jedoch nicht extrem niedrigen Präferenzempfindungen zurückzuführen ist. In den Kennzahlen der Tab. 37 erweist sich die Verteilung der Präferenzwerte von VB 1 als sehr stark gleichverteilt, wozu u.a. das niedrige Maximum und das niedrige arithmetische Mittel beitragen. Auch der absolute Wert F für die räumliche Streuung (Tab. 38) übertrifft jene aller anderen ausgewählten Quellen, erreicht aber nur 75% desjenigen für Gleichverteilung am Schwerpunkt der Präferenzverteilung (F_r). Eine Richtungsorientierung läßt sich nicht feststellen.

Es wäre voreilig, das Zurücktreten der Selektivität in Verbindung mit der Tendenz zur Gleichverteilung zu bringen, auch wenn das Muster des VB 1 hierfür spricht. Betrachtet man Median-Entfernung, 1. und 3.Quartil für VB 24, so repräsentieren sie eine ähnliche, wenn auch noch weiter gestreute Verteilung als beim Vorgänger. Doch sollte das niedrige arithmetische Mittel und die niedrigere Entropie zur Vorsicht gemahnen. Tatsächlich weist Abb. 105 einen Verteilungstyp auf, der - zugegebenermaßen - extrem für die zugehörige Klasse ist, aus der er ausgewählt wurde, dessen Grundzüge sich allerdings bei allen Klassenmitgliedern finden: eine ausgeprägte Selektivität im Gesamtraum.

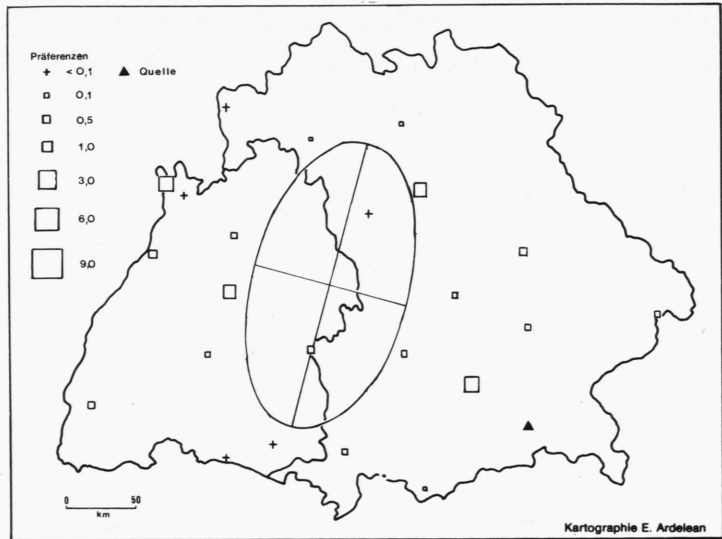
Unschwer erkennt man die Anbindung extremer und überdurchschnittlicher Präferenzen an die Bevölkerungsschwerpunkte, wobei lediglich

Abb. 105 Verkehr mit elektrotechnischen Gütern innerhalb Süd-deutschlands im Jahr 1972: Versandpräferenzverteilung der Quelle 24 Rosenheim; diskret und kontinuierlich

Kontinuierliche Versandpräferenzverteilung



Diskrete Versandpräferenzverteilung



VB 1 als Ziel abweicht. 3/4 aller potentiellen Ziele haben Präferenzen unter 0,5, so daß sich die bevorzugten Ziele in der Isolinienkarte deutlich abheben. Mit einiger Sicherheit kann für dieses Verteilungsmuster die Produktionsstruktur des VB 24 verantwortlich gemacht werden, da der ausgeprägte Schwerpunkt in der Unterhaltungselektronik einschließlich Zubehör liegt und der Vertrieb vornehmlich über marktorientierte Zentralläger erfolgt.

Wie dokumentiert sich diese Verteilung in den Parametern der S.A.E.? Die Lage des Schwerpunktes der Verteilung ist sowohl in absolutem (d) als auch relativem (d_r) Abstand gemessen als überdurchschnittlich weit von der Quelle zu beurteilen. Auch hier zeigt sich erst der Übergang zum relativen Wert aussagekräftig für die große räumliche Streuung der Präferenzen um den Schwerpunkt, die knapp unter VB 1 liegt. Die ausgesprochene Richtungsorientierung läßt sich absolut (ϵ) und relativ (ϵ_r) nachweisen. Sie gilt - wie für alle VB - unter der Voraussetzung, daß alle Ziele Präferenzen in jeder Höhe erhalten können. Wenn - wie hier der Fall - zusätzliche Information über die Verteilung der Präferenzen vorliegt, ist es möglich, diese festgestellte Richtungsorientierung auf die relative Lage der Quelle (hier: zu den Bevölkerungsschwerpunkten) zurückzuführen. Aber es darf noch einmal festgestellt werden, daß hier und in allen weiteren Untersuchungen diese Zusatzinformation außer acht bleibt.

Betrachtet man rückblickend die vorgestellten Verteilungsmuster, so fragt man sich, wie sie das Modell als räumliche Widerstandsfunktion nachbilden wird. Die Schwierigkeiten sind absehbar und können in fünf Punkten zusammengefaßt werden:

- (i) Auftreten von räumlicher Selektivität
- (ii) Auftreten von Interaktionsblöcken
- (iii) Mehrteilung (Zersplitterung) überragender Präferenzgebiete
- (iv) Nur schwacher Zusammenhang zwischen relativer Lage und Verteilungsmuster
- (v) Keine generelle Abhängigkeit von Aufkommen und Verteilungsmuster

ad (i), (ii). In das Modell gehen an Raumvariablen Distanz und relative Lage ein. Durch die Einführung der räumlichen Konkurrenz wird zwar eine distanzunabhängige Bewertung der Senken erreicht, diese Bewertung zeigt jedoch eine klare Abhängigkeit von der relativen Lage der Senken und verändert keinesfalls die Attraktivität räumlich benachbarter Senken extrem. Auf Stufe 5 und deren Erweiterung ist insofern eine realitätsnahe Bewertung zu erzielen, als über regional differenzierte Aufwandswerte variable Versand- (und Empfangs-)Exponenten abgeleitet werden können. Wie sich die Existenz von Interaktionsblöcken in den Modellparametern niederschlägt, wird sich zeigen.

ad (iii). Da das Modell - auch in seinen Erweiterungen - nur einen Typ der Entfernungsfunktion verwendet, sind Verteilungsmuster wie bei VB 16 äußerst schwer nachzubilden. Es kann entweder bei der Modellapproximation zu einer Entscheidung für einen hohen Exponenten kommen, was gleichbedeutend mit einer Fehlschätzung der weiter entfernt liegenden hohen Präferenzgebiete ist, oder zu einem niedrigen Exponenten, wobei die der Quelle benachbarten Senken mit hohen Präferenzen unterschätzt werden. Auch Kompromisse sind denkbar; letztlich hängt diese Entscheidung jedoch auch von der Aufwandsperzeption der umliegenden Quellen ab.

ad (iv), (v). Auf Stufe 3 der Modellapproximation werden die erzeugten Verteilungsmuster sehr stark von relativer Lage und Aufkommen der jeweiligen Quelle geprägt, was in Kapitel 2 und 4 gezeigt werden konnte. Diese Bindungen lockern sich bei Übergang zu idealen Punktmustern (Hex.) oder in Stufe 5 bzw. deren Erweiterung.

Es wird ein besonderes Anliegen in den beiden nächsten Abschnitten sein, die Approximation dieser vorgestellten Punktmuster über alle Stufen, Erweiterung und Punktmuster zu verfolgen. Keinesfalls wird damit das Modell bestätigt oder falsifiziert, da die Modellhypothese die Verkehrsverteilung im Gesamttraum charakterisiert. Aber es soll aufgezeigt werden, inwieweit diese sehr große Spannweite von Einzelpunktmustern mit Hilfe dieser einzigen raumstrukturierenden Datensätze (Versand-/Empfangs-Aufwand) eingetangen und angenähert werden kann.

5.3 MODELLAPPROXIMATION AUF DEN STUFEN 3 UND 5

In diesem und im folgenden Abschnitt soll auf die in 5.1 dargelegten Probleme eingegangen werden. Die Modellapproximation der vorgegebenen und in 5.2 beschriebenen Original-VSM erfolgt auf den Stufen 3 und 5 für die Punktmuster 'Süd-VB' und 'Hexagonal'. Da bei Verwendung von 'Hexagonal' der Einfluß der relativen Lage auf die modellhaft berechnete Verkehrsverteilung zurücktritt, scheint es sinnvoll, die an diesem Punktmuster gewonnenen Ergebnisse zuerst darzustellen. Beim Übergang von Stufe 3 auf Stufe 5 können die in 4.3.4 angestellten Überlegungen zur Übertragbarkeit der Ergebnisse verwendet werden, um die regional differenzierten Aufwandsperzeptionen untereinander und somit auch mit den für die Originalmatrix in 5.2 gewonnenen vergleichbar zu machen.

Beim Übergang von Punktmuster 'Hexagonal' zu 'Süd-VB' verändern sich Distanzen und - in geringerem Maß - Lageverhältnisse. Entscheidend ist, daß nun beide Raumvariablen : Distanz und relative Lage : vollen Einfluß auf die modellhaft berechnete Verkehrsverteilung nehmen. Damit können Vergleiche auf gleicher Stufe zwischen den Punktmustern durchgeführt werden, die den Einfluß des Punktmusters auf die Modell- bzw. Original-Verkehrsverteilung sichtbar machen sollen.

5.3.1 Approximation unter Punktmuster Hexagonal

Die Beeinflussung des Modells durch Vorgabe des im Untersuchungszeitraum geleisteten Aufwands besteht darin, daß dieser Wert zur Bestimmung des Exponenten für die Entfernungsfunktion herangezogen wird. Auf die Abhängigkeit zwischen Exponent und Ausgleichsfaktoren ist wiederholt eingegangen worden, so daß die Umsetzung dieser globalen Größe auf regional differenzierte Einflußgrößen offensichtlich ist. Dennoch soll daran erinnert werden, daß die Entropie in der Informationstheorie als Mittelwert definiert ist. Somit steht zu erwarten, daß die Aufwandsgröße des Gesamtsystems nur eine Approximation im Mittel zuläßt, sollte die reale VSM

nicht nur von den Raumvariablen 'Distanz' und 'relative Lage' abhängig sein.

Tabelle 39

Modellapproximation der vorgegebenen VSM mit Stufe 3 des Konkurrenzmodells - Punktmuster Hexagonal -
(Auszug aus Tab. 50 des TA)

	Ergebnisse Stufe 3	zum Vergleich: Stufe 1
Exponent	0,447	0,000
Bestimmtheitsmaß (Gesamtsystem)	0,632	0,544
Regionale Bestimmtheitsmaße (Versand)		
\bar{x}	0,442	0,324
s	0,240	0,225
v	0,543	0,692
max	0,836	0,684
min	- 0,068	- 0,091
range	0,904	0,775
Rel.Entropiedifferenz	0,033	0,000

In Tab. 39 sind als Auszug der Tab. 50 des TA einige Kennzahlen der Modellapproximation auf Stufe 3 zusammengestellt. Zunächst weist der berechnete Exponent darauf hin, daß die Originalmatrix eine Aufwandseinschätzung repräsentiert, die mit zunehmender Entfernung auch zunehmenden Aufwand beinhaltet. Jedoch steht die Modellmatrix näher zur Gleichverteilung als zu den in Kap. 4 auf Stufe 3 besprochenen Verkehrsverteilungsmatrizen. Das in Abschnitt 2.1 eingeführte Bestimmtheitsmaß liefert den Wert 0,632, welcher jenen auf Stufe 1 (0,544) übertrifft. Damit ist gezeigt, daß den hier zur Nachbildung herangezogenen Raumvariablen ein Erklärungswert zukommt.

Verschiedentlich konnte in 5.2 die Existenz unterschiedlicher Aufwandseinschätzungen der VB anhand der Werte der Originalmatrix nachgewiesen werden. Damit ergibt sich die Notwendigkeit, die regionalen Bestimmtheitsmaße der Modellapproximation zu betrachten, weil nicht davon ausgegangen werden kann, daß die Approxima-

tion im Mittel auf Stufe 3 auch auf Differenzierungen innerhalb der einzelnen VB-Verteilungen eingeht. Darüber hinaus dienen diese Bestimmtheitsmaße als Testschranke (vgl. Abschnitt 2.1), ob die Modellmatrix als Norm für die beobachtete Verkehrsverteilung herangezogen werden kann.

Hierzu werden zunächst die Bestimmtheitsmaße der Approximation auf Stufe 1 benötigt (vgl. Tab. 38 des TA). Sie schwanken zwischen -0,091 und 0,684, weisen zudem eine größere Streuung als bei Stufe 3 auf (vgl. Tab. 39). Vergleicht man sie mit den auf Stufe 3 erhaltenen, ergibt sich bis auf 5 Fälle eine bessere Approximation der Verkehrsverteilung der VB auf Stufe 3, so daß die Modellmatrix in Näherung als Norm dienen kann. Abb. 106 verdeutlicht, daß abgesehen von lokalen Klumpen kaum raumbestimmende Regelmäßigkeiten in der Güte der Approximation auf Stufe 3 feststellbar sind.

Die Betrachtung der absoluten Werte des Bestimmtheitsmaßes bleibt insofern unbefriedigend, als auf Stufe 1 schon unterschiedlich gute Approximationen bestehen, somit die Hinzunahme der Raumvariablen recht differenziert zu bewerten ist. Hier kann die Methode der 'z-scores' helfen, die absoluten Werte zu relativieren, indem die Schwierigkeit der Approximation, die ja von der jeweiligen Verkehrsverteilung der VB abhängig ist, in Rechnung gestellt wird. Im einzelnen ergibt sich folgendes Vorgehen:

1. Klassenbildung

Das Bestimmtheitsmaß beurteilt die Güte der Approximation im Mittel. Da es um so schwieriger ist, die Verkehrsverteilung eines VB nachzubilden, je mehr die Einzelwerte (räumlich) streuen, kann als Maß für den Schwierigkeitsgrad die Entropie angesehen werden. Hierzu hätte sich auch der Variationskoeffizient der jeweiligen Verkehrsverteilung geeignet, der in engem linearen Zusammenhang mit der Entropie steht ($r = -0,92$). Nachstehend sind die VB gemäß der Entropie ihrer realen Verkehrsverteilung in drei Klassen eingeteilt, die die Grundlage für alle ähnlichen Berechnungen dieses Abschnitts bilden:

Tabelle 40

Einteilung der VB in Klassen gemäß der relativen Entropie ihrer Versandverteilung

Klasse	Entropie	VB - Nr.	Σ
1	0,440 - 0,615	8, 18, 21, 23, 24	5
2	0,616 - 0,750	4, 5, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 19	10
3	0,751 - 0,885	1, 2, 3, 6, 7, 13, 14, 20, 22	9

Grundlage: Tab. 39 des TA

2. Klassenweise Standardisierung

Betrachtet man die Differenz der Bestimmtheitsmaße von Stufe 3 und Stufe 1 (vgl. Tab. 50 des TA), drückt diese die Veränderung der Güte der Approximation bei Hinzunahme der Raumvariablen aus [*, M 7.5]. Jedoch sind die Differenzen nicht vergleichbar, gibt es doch VB, bei denen Verbesserungen leicht oder weniger leicht zu erzielen sind. Es empfiehlt sich, die Differenzen innerhalb der im 1. Schritt erhaltenen Klassen zu standardisieren, um so die Vergleichbarkeit zu ermöglichen (vgl. Tab. 50 des TA). Die hierzu benötigten statistischen Parameter einschließlich der Variationskoeffizienten sind:

Klasse	\bar{x}	s	v
1	0,083	0,067	0,817
2	0,175	0,124	0,710
3	0,074	0,187	2,550

3. Gruppierung der standardisierten Veränderungen der Bestimmtheitsmaße

Die Gruppierung der in 2. gewonnenen standardisierten Veränderungen der Bestimmtheitsmaße gegenüber Stufe 1 wird im gesamten Abschnitt nach folgenden Schwellenwerten vorgenommen:

Gruppe	Schwellenwert z-scores	VB bei Stufe 3
1	< -1,20	3, 9, 13, 21
2	-1,20 - -0,51	2, 11
3	-0,50 - 0,50	6, 8, 10, 14, 15, 16, 17, 18, 20, 24
4	0,51 - 1,20	1, 4, 5, 12, 22, 23
5	> 1,20	7, 19

VB in Gruppe 1 zeigen sich gegenüber Stufe 1 extrem niedrig verändert, in Gruppe 3 durchschnittlich verändert und in Gruppe 5 extrem hoch verändert, wobei im vorliegenden Fall statt verändert 'verbessert' gesetzt werden kann.

Abb. 106 Modellapproximation Stufe 3; 'Hexagonal': Absolutes Bestimmtheitsmaß und standardisierte Veränderung des Bestimmtheitsmaßes gegenüber Stufe 1

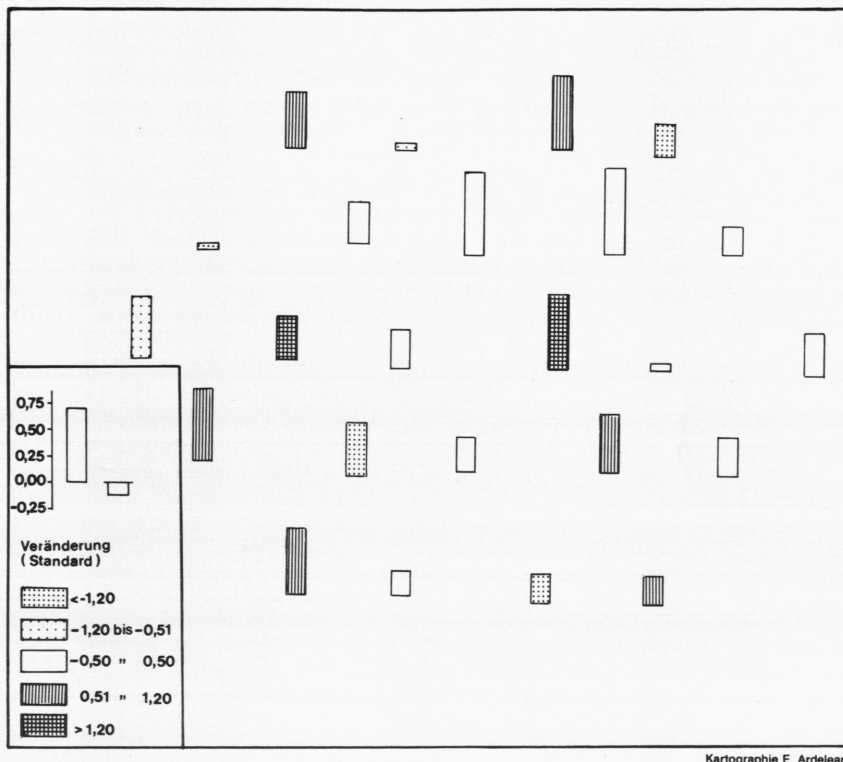


Abb. 106 zeigt, daß die Heranziehung von Raumvariablen räumlich differenzierte Verbesserungen der Approximation im Mittel bewirkt. Auch hier sind zwar einige Klumpen zu beobachten, jedoch ist keine klare Abhängigkeit der Verbesserung von der relativen Lage feststellbar.

Wenn auf Stufe 3 durch Vorgabe des Gesamtaufwandes der Exponent der Modellmatrix bei bekanntem Untersuchungsraum und Aufkommensmengen bestimmt ist, so ist es gleichzeitig auch die Entropie des Gesamtsystems bzw. jene der einzelnen VB für die Modell-Verkehrsverteilung. Tab. 39 des TA zeigt die entsprechenden Werte, deren Zustandekommen ausführlich in Kapitel 4 besprochen wurde. Es fällt

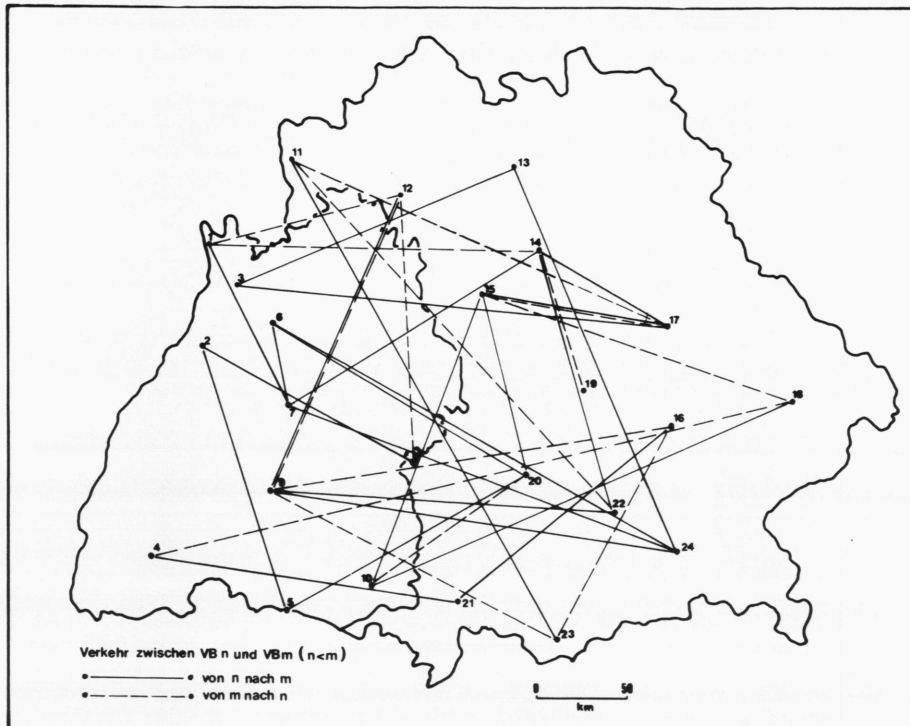
auf, daß auf Stufe 3 alle Entropien der modellhaft berechneten Einzelverteilungen über jenen der beobachteten liegen. Die das Gesamtsystem charakterisierende relative Entropiedifferenz liegt unter derjenigen der beobachteten VSM, was bedeutet, daß der Zusammenhang zwischen Quellen und Senken im realen Fall zwar nicht übermäßig stark ist, jedoch weit über dem vom Modell ermittelten liegt. Zweifellos spielt eine Rolle, daß das Modell kaum in der Lage ist, die in 5.2 besprochenen nicht existenten Verbindungen nachzubilden, so daß auf Stufe 3 bei Approximation im Mittel die Ungewißheit über globale und regionale Verkehrsverteilung überschätzt wird.

Faßt man die bis jetzt erhaltenen Ergebnisse zusammen, ergibt sich folgendes Bild:

1. Durch Vorgabe des Gesamtaufwands wird auf Stufe 3 eine Approximation im Mittel eingeleitet.
2. Zeigt die zu approximierende VSM für die Einzel-VB unterschiedlich starke Abhängigkeiten der Verkehrsverteilungen von den herangezogenen Raumvariablen, führt diese Approximation im Mittel auch zu regional unterschiedlich guten Ergebnissen, sowohl absolut als auch relativ betrachtet.
3. Die Entropie-Maximierungsmethode führt jedoch nicht zu einer Annäherung im Mittel der im System vorhandenen Ungewißheit über die Verkehrsverteilung. Vielmehr übertreffen die Entropiewerte der regionalen Modell-Verkehrsverteilungen jene der realen Verkehrsverteilungen.

Es interessieren aber nicht nur Aussagen über die Approximation der Einzel-VB insgesamt, sondern auch über Approximationen der Einzel-Relationen. Für die ausgewählten Verteilungstypen werden entsprechende Untersuchungen in 5.4 im Zusammenhang aller Erklärungsstufen und Punktmuster angestellt. Hier sollen Relationen betrachtet werden, die möglichst "gut" angenähert sind. Weisen sie eine besondere Verteilung hinsichtlich Verkehrsfluß und Entfernung auf?

Abb. 107 Modellapproximation Stufe 3; 'Hexagonal': Mit einem Fehler unter 10% approximierte Versandrelationen; wegen Darstellbarkeit ist für die Zeichnung 'Süd-VB' verwandt



Kartographie E. Ardelean

Nimmt man als Kriterium für eine "gute" Approximation, daß der vom Modell ermittelte Wert $\pm 10\%$ des zu schätzenden Wertes abweichen darf, dann werden rund 8% der beobachteten Interaktionsflüsse gut geschätzt (vgl. Tab. 43 des TA). Diese Relationen weisen in ihrer Verteilung über den Untersuchungsraum hinsichtlich der angesteuerten Senken geringe Ungleichgewichte auf (vgl. Abb. 107): süd- und ostbayerische Senken erhalten im Schnitt 2 solcher Relationen gegenüber 1 Relation im Schnitt bei den übrigen Senken. Betrachtet man die ordinalen Entfernungen, über die diese Interaktionen gehen, so sind diese gleichmäßig verteilt (vgl. Tab. 43 des TA). Insofern kann keine Bevorzugung der Approximation im Mittel festgestellt werden. Dagegen ergibt sich bei der Berücksichtigung der Bedeutung, die diese gut approximierten Relationen für die jeweiligen Versender

haben, daß es sich im wesentlichen um überdurchschnittliche Versandmengen handelt. Dennoch liegen die %-Anteile des in diesen Relationen abgewickelten Versands am Gesamtversand der Einzel-VB sehr niedrig.

Ergänzend zur obigen Zusammenfassung kann für die Einzelbetrachtung ausgesagt werden:

4. Eine Bevorzugung bestimmter Distanzen oder Verkehrsschwerpunkte in bestimmter relativer Lage hinsichtlich des Erklärungswertes ist bei der Approximation im Mittel nicht festzustellen.

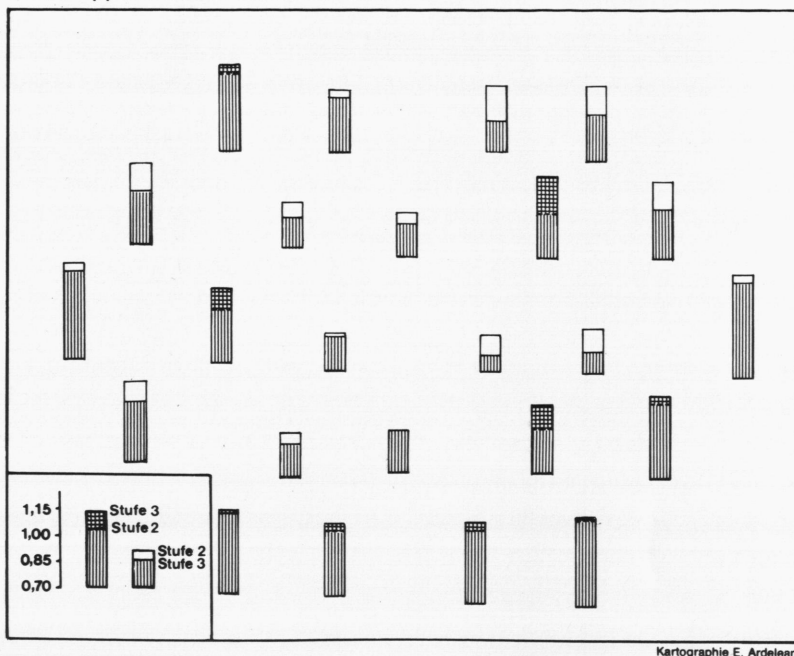
Mit dieser Aussage soll die Betrachtung der Beeinflussung des Modells durch die Vorgabe des Gesamtaufwands bzw. der realen VSM abgeschlossen werden. Falls die Modellmatrix als Norm verwendet werden soll, dann muß einiges über ihre Struktur bekannt sein. Hier wird nur die Betrachtung der Versandkosten an den Senken durchgeführt und im übrigen auf die schon erzielten Ergebnisse der Kapitel 2 und 4 verwiesen.

Um die Schwierigkeiten der Betrachtung der Versandkosten bei räumlich zufällig variierenden Aufkommensmengen herabzusetzen, wird als Vergleichsbasis die entsprechende Verteilung für den Fall räumlich gleichverteilter Versand- und Empfangsmengen, jedoch mit dem für Stufe 3 ermittelten Exponenten der Entfernungsfunktion herangezogen (vgl. Abb. 108). Ganz eindeutig nehmen die zur Versandkosten reziproken B-Werte vom Zentrum zum Rand zu, d.h. entsprechend den theoretischen Ansätzen des Kapitel 2 nimmt die Versandkosten an den Senken vom Zentrum zum Rand hin ab. Geht man zu den variablen und zufällig verteilten realen Aufkommensmengen über, wird diese Aussage modifiziert. So zeigt der Vergleich der gemäß Beziehung (22) relativierten B-Werte, daß die Versandkosten

in Senken mit extrem hohem Versandaufkommen sowie in Nachbarschaft von Quellen extrem niedriger Versandaufkommen abnimmt,

um die Zentren extrem hoher Versandaufkommen und in Senken mit niedrigem Versandaufkommen zunimmt.

Abb. 108 Modellapproximation Stufe 3; 'Hexagonal': Mit dem auf Stufe 3 ermittelten Exponenten, aber mit den auf Stufe 2 angenommen Aufkommensmengen berechneten B-Werte als Vergleichsbasis für die auf Stufe 3 der Modellapproximation erhaltenen Werte



Kartographie E. Ardelean

Man beachte jedoch auch die Einflüsse der Empfangsmengen der Senken auf die Bildung der Versandkonkurrenzen, die Abweichungen von dem oben geschilderten Muster bewirken. Insgesamt bleibt die Grundtendenz der Abnahme der Versandkonkurrenz vom Zentrum zum Rand trotz des recht niedrigen Exponenten auch bei variablen Aufkommensmengen erkennbar.

Modellapproximation auf Stufe 5

Auf Stufe 5 wird in Rechnung gestellt, daß die in jeder Quelle ansässigen Versender ihre eigene Aufwandseinschätzung vornehmen können. Dies führt zur Bestimmung des Exponenten der Entfernungsfunktion für jeden einzelnen VB. Tab. 51 des TA zeigt die dabei erhaltenen Werte, wobei auf die Problematik ihrer Berechnung in [*, M 6.4] verwiesen wird, was im vorliegenden Fall besonders die Werte für VB 12 und 16 betrifft.

Tabelle 41

Modellapproximation der vorgegebenen VSM mit Stufe 5 des Konkurrenzmodells - Punktmuster Hexagonal -
(Auszug aus Tab. 51 des TA)

Regionalisierte Exponenten		Bestimmtheitsmaß	
Statist. Kennzahlen		Statist. Kennzahlen	
\bar{x}	0,691	global	0,660
s	1,051	regional (Versand)	
v	1,522	\bar{x}	0,328
1.Quartil	0,313	s	0,676
Median	0,689	v	2,060
3.Quartil	0,781	max	0,839
3.Qu. - 1.Qu.	0,468	min	- 2,398
max	0,948	range	3,237
min	- 5,000	Relative Entropie-	
range	5,948	differenz	0,081

Die Beziehung zum gemeinsamen Exponenten des Untersuchungsgebietes auf Stufe 3 ist nicht ohne weiteres ersichtlich, liegen doch arithmetisches Mittel und Median über diesem Wert bei einer beträchtlichen Streuung der Einzelwerte um das arithmetische Mittel. Allerdings befindet sich der Exponent der Stufe 3 innerhalb einer Standardabweichung um das arithmetische Mittel und nur knapp außerhalb der halben Interquartil-Variationsbreite um den Median. Des weiteren wird auf die beträchtliche Lücke der Einzel-Exponentwerte zwischen dem 13. (VB 17 mit 0,369) und 14. (VB 7 mit 0,687) Wert (aufsteigend geordnet) hingewiesen, in die - näher zu VB 17 - der Exponent der Stufe 3 einzuordnen wäre (vgl. Tab. 51 des TA).

Geht man von der formal statistischen Beschreibung zur interpretativen Bewertung über, müssen Zusammenhänge zwischen Aufwandseinschätzung und räumlicher Verkehrsverteilung gefunden werden. Beim einfachen Gravitationsmodell, mit dessen Hilfe in frühen Arbeiten die Einzelexponenten für jede Quelle getrennt ermittelt wurden, nahm die Betrachtung dieser Exponenten einen überragenden Platz ein. Hier jedoch sind die Exponenten untereinander und von Parametern der relativen Lage abhängig. D.h. wertmäßig gleiche Exponenten können im Rahmen ihrer räumlichen Widerstandsfunktionen zu unterschiedlichen Verkehrsverteilungen der zugehörigen Quellen

führen. Einen Weg, dennoch die Verkehrsverteilungen der Quellen untereinander vergleichbar zu machen und zu beurteilen, zeigt der erste Vorschlag in 4.3.4. Er soll im folgenden ausgeführt werden.

Um beim Vergleich des Ausgangszustandes, wie er sich in der Präferenzstruktur der Stufe 3 darstellt, und dem beobachteten Endzustand der Stufe 5 gleiche Bezugsbasen zu haben, werden nicht die Original-Präferenzen, sondern die jeder Relation zugewiesenen Anteile an dem Gesamtpräferenz-Versand der jeweiligen Quelle in Beziehung gesetzt. Zur Verdeutlichung sind sechs VB ausgewählt, deren Unterschiede in den Präferenzverteilungen auf Stufen 3 und 5 in Tab. 42 dargestellt sind.

VB 1 besitzt einen Exponenten, der über jenem der Stufe 3 liegt. Infolgedessen ergeben sich auf Stufe 5 höhere Präferenzanteile für Senken in der Nahumgebung der Quelle, hingegen niedrigere Anteile für entfernt gelegene Senken, immer bezogen auf die Verhältnisse auf Stufe 3. Man beachte die Unregelmäßigkeiten dieser Veränderungen, die auf die unterschiedlichen Aufwandswahrnehmungen der übrigen Quellen zurückzuführen sind.

Stellt man VB 1 die Verhältnisse von VB 2 gegenüber, welcher auf Stufe 5 einen niederen Exponenten als auf Stufe 3 gewählt hat, dann werden den nahe der Quelle gelegenen Senken weniger Präferenzanteile zugestanden, den weiter entfernt gelegenen mehr. Auch hier liegt keine strenge Variation der Veränderungen mit der Entfernung zur Quelle vor.

Weniger deutlich und schwieriger zu beschreiben sind die Veränderungen für die Quellen 14 und 17, deren Exponenten fast übereinstimmen und dem Exponenten auf Stufe 3 am nächsten kommen. Hinsichtlich des Auftretens von positiven und negativen Abweichungen bestehen zwischen den beiden Quellen große Ähnlichkeiten. Da jedoch die Beträge gering sind und keine Abhängigkeit von der Entfernung zur Quelle besteht, kann davon ausgegangen werden, daß die Präferenzverteilungen auf Stufe 3 und Stufe 5 für beide Quellen nicht sehr verschieden sind.

Bislang scheint es, als ob doch der Exponent wesentlich die Verteilung beeinflusst, so daß allein ein Vergleich der Exponenten untereinander Aussagekraft genug besitzt, eine Bewertung der Verteilungstypen zu ermöglichen. Dabei wirkt noch bestärkend für dieses Argument, daß das vorliegende Punktmuster 'Hexagonal' die Einflüsse der relativen Lage eher dämpft als betont. Dennoch ist Vorsicht geboten, wurden die bisher besprochenen Beispiele räumlich benachbart gewählt und doch ergaben sich regionale Variationen der Aufkommens-Zu- oder Abnahmen gegenüber Stufe 3.

Tabelle 42

Punktmuster Hexagonal, auf Süd-VB umgeordnet; Veränderung des Präferenzanteils bei Übergang von Stufe 3 zu Stufe 5 für die Versandpräferenzverteilung ausgewählter Quellen
(Angabe: Präferenzanteil Stufe 3 - Präferenzanteil Stufe 5)

VB 1 (Exponent: 0,781)

```

      *   -6,7 -0,3  0,2
    - 2,9 -3,6 -0,5  0,0  0,7
  0,8  0,1  0,5  0,8  0,8  0,9
    0,8  0,9  0,8  0,8  1,4
    1,4  1,1  1,1  1,1
  
```

VB 2 (Exponent: 0,332)

```

      0,0 -0,1 -0,9 -0,9
    1,4  0,4 -0,3 -0,9 -0,6
  *   1,1  0,3 -0,1 -0,2 -0,8
    1,8  0,6  0,0 -0,5  0,0
    0,6  0,0 -0,4 -0,6
  
```

VB 17 (Exponent: 0,369)

```

    -0,2  0,0 -0,6 -0,4
    0,0  0,2 -0,2 -0,5  *
  0,1  0,0  0,1  0,4  0,6  0,0
    -0,1  0,2  0,1 -0,1  0,7
    0,2  0,0 -0,2 -0,2
  
```

VB 14 (Exponent: 0,361)

```

    -0,3  0,1 -0,4 -0,2
    -0,1  0,2  0,0  *   0,2
  0,0  0,0  0,1  0,7  0,6 -0,5
    -0,1  0,1  0,1 -0,2  0,3
    0,1 -0,1 -0,2 -0,4
  
```

VB 4 (Exponent: 0,750)

```

    0,4  0,6  0,2  0,4
    -0,1  0,4  0,2  0,2  0,6
  -3,9 -2,6  0,0  0,6  0,6  0,8
  *   -0,8  0,3  0,4  1,1
    -0,8  0,1  0,6  0,7
  
```

VB 19 (Exponent: 0,727)

```

    0,8  0,7 -0,2 -0,1
    0,9  0,7 -1,1 -2,7  0,0
  1,1  0,8  0,0  * -3,2  0,3
    0,9  0,7 -0,5 -3,2  0,8
    1,1  0,8  0,6  0,5
  
```

*: Markierung der Quelle

Vergleicht man die Veränderungen für die Quellen 4 und 19, die ebenfalls etwa gleiche Exponenten haben, welche über dem gemeinsamen der Stufe 3 liegen, dann macht sich schon die unterschiedliche relative Lage bemerkbar. Übereinstimmend findet sich um die jeweilige Quelle ein Gebiet, in dem gegenüber Stufe 3 höhere Präferenzanteile zu verzeichnen sind. Jedoch treten solche engeren Verflechtungen mit Senken für Quelle 19 trotz zentraler Lage nur in Bayern auf und auch hier in stärkerer Ausdehnung nach Norden als nach Süden. Während sich bei Quelle 4 der Übergang von hohen zu niedrigeren Präferenzanteilen gleichmäßig vollzieht, kommt es bei Quelle 19 zu abrupten Veränderungen. Damit ist ein Hinweis gegeben, daß gleiche Exponenten im Verbund mit den Ausgleichsfaktoren unterschiedliche Verteilungstypen hervorrufen können.

Eine Erhärtung dieser Vermutung bedingt eine genaue Charakterisierung der räumlichen Verteilung der Veränderungen. Hierzu wird der Ansatz der Trend-Oberflächenanalyse herangezogen:

$$(27) \quad z_{ij} = a_0 + a_1 x_{ij} + a_2 y_{ij} + a_3 x_{ij} y_{ij} + a_4 x_{ij}^2 + a_5 y_{ij}^2$$

mit

z_{ij} : = Präferenzanteil der j-ten Senke auf Stufe 3 minus Präferenzanteil der j-ten Senke auf Stufe 5 bei Quelle i

x_{ij} : = Abszisse der Senke j in einem Koordinatensystem mit Ursprung in Quelle i

y_{ij} : = Ordinate der Senke j in einem Koordinatensystem mit Ursprung in Quelle i

a_0, \dots, a_5 : = Parameter der Mehrfachregression

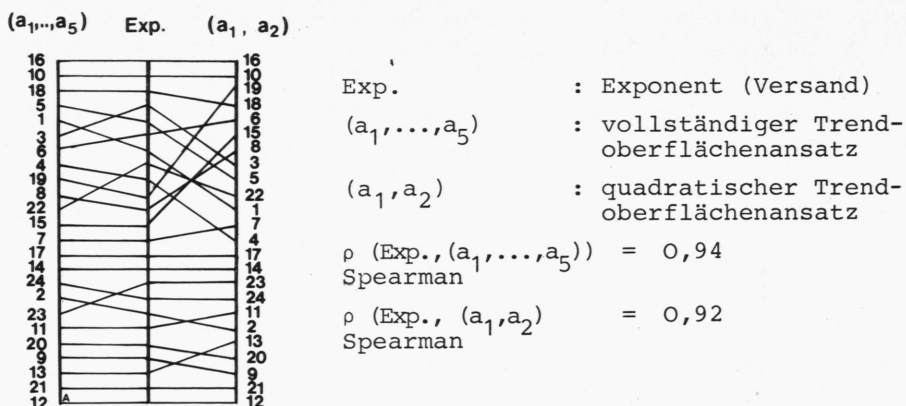
Der Ursprung des Koordinatensystems verändert sich also laufend, um einen Vergleich der Regressionsparameter zu ermöglichen. Dabei wird noch vereinbart, daß die Werte z_{ii} an den Quellen das arithmetische Mittel der Werte z_{ij} der Nachbarsenken darstellen.

In den Parametern (a_0, \dots, a_5) schlagen sich die Eigenarten der jeweiligen räumlichen Verteilung nieder; sie können zum Vergleich herangezogen werden. In Tab. 47 des TA sind die erhaltenen Werte aufgeführt. Dabei ist zu beachten, daß alle Quellen mit Exponenten auf Stufe 5 über dem gemeinsamen Exponenten der Stufe 3 einschließlich Quelle 17 negative Werte für a_0 aufweisen, alle übrigen Quellen positive. Die multiplen Korrelationskoeffizienten weisen hohe Werte auf, wobei nur drei Quellen (VB 14, 16, 17) unter 0,7 liegen.

Es könnte nun versucht werden, eine spezielle mathematische Norm in dem zugehörigen Funktionenraum einzuführen und mit ihrer Hilfe unter Verwendung von Cluster-Analysen eine Einteilung der VB in Verteilungstypen zu erarbeiten. Da ähnliche Überlegungen in 5.4 im Zusammenhang mit allen Versuchen zur Matrixapproximation angestellt werden, soll hier ein abgekürztes Verfahren zum Zuge kommen, welches eine eindimensionale Reihung der Punktmuster ähnlich der Reihung nach Exponenten gestattet. Jedem 5-Tupel (a_1, \dots, a_5) wird die euklidische Norm im \mathbb{R}^5 zugeordnet, die das Vorzeichen von a_0 erhält (vgl. Tab. 47 des TA). Reiht man die so erhaltenen Werte und stellt sie der Reihung nach Exponenten gegenüber, dann lassen sich überwiegend geringfügige Unterschiede feststellen (vgl. Abb. 109). Bevor diese besprochen werden, soll noch ein modifizierter Ansatz herangezogen werden mit folgender Begründung:

Da bei randlich gelegenen Quellen Ziele nur in einem Ausschnitt der (gedachten) Windrose zu finden sind, werden die Parameter a_1, a_2, a_3 stark durch die relative Lage beeinflusst. Es wird deshalb vorgeschlagen, nur quadratische Terme heranzuziehen, um zum Ursprung symmetrische Trendoberflächen zu erhalten:

Abb. 109 Modellapproximation Stufe 5; 'Hexagonal': Vergleich der Reihungen der VB nach dem auf Stufe 5 ermittelten Versandexponenten mit jenen nach dem vollständigen bzw. quadratischen Trendoberflächenansatz zur Beschreibung der räumlichen Widerstandsfunktion



$$(28) \quad z_{ij} = a_0 + a_1 x_{ij}^2 + a_2 y_{ij}^2$$

Tab. 47 des TA beinhaltet die so erzielten Ergebnisse, wobei dem Vorzeichen von a_0 die oben angesprochene Bedeutung zukommt. Zweitens ist diese Beschreibung der Veränderungen gröber, was auch in den Werten des multiplen Korrelationskoeffizienten zum Ausdruck kommt. Dennoch liegt gerade in der Vergröberung die Möglichkeit, sich von den Einflüssen der relativen Lage freizumachen. Die Anwendung der euklidischen Norm im \mathbb{R}^2 zur Erhaltung einer Reihung der VB wird wie oben durchgeführt.

Vergleicht man nun die Reihungen (Abb. 109), stellt man fest, daß

- Umordnungen am oberen und unteren Ende der Reihungen unterbleiben bzw. geringfügig sind,
- Umordnungen die Einteilung der VB in solche mit Exponenten über dem gemeinsamen Exponenten der Stufe 3 und solche mit darunterliegendem Exponenten im wesentlichen unangetastet lassen; dabei besteht im Vergleich der Reihung nach Exponenten und nach dem quadratischen Ansatz große Übereinstimmung bei Quellen mit Exponenten, die unter dem gemeinsamen der Stufe 3 liegen.
- die Rangkorrelationskoeffizienten (Spearman) weisen eine recht hohe Übereinstimmung von Veränderungstyp und Exponent aus.

Betrachtet man noch einmal die VB 4 und 19, so liegen sie hinsichtlich der Reihung nach Ansatz (27) beieinander, im quadratischen Ansatz schlagen sich die größeren Veränderungen der Quelle 19 im Rangplatz nieder, der deutlich von jenem der Quelle 4 getrennt ist.

Beurteilt man aufgrund dieser Ergebnisse die unterschiedlichen Verteilungstypen der Quellen, dann überrascht zunächst, daß die Tendenz zur Marktbeherrschung (gegenüber Stufe 3) räumlich nicht zufällig verteilt ist, sondern im wesentlichen in Baden-Württemberg auftritt (8 von 10 Quellen), vereinzelt auch in Bayern, u.a. auch im Schwerpunkt der Elektroindustrie München. Beide Beobachtungen

deuteten sich allerdings an: zum einen konnte die Existenz der Interaktionsblöcke nachgewiesen werden, die sich natürlich auch in den lokalen Aufwandsgrößen niederschlägt, besonders bei Baden-Württemberg, wo vergleichsweise geringere Durchschnittsentfernungen innerhalb des Landes erzielt werden als in Bayern. Zum anderen darf auf die ermittelten Teilsysteme hingewiesen werden, wo Südbayern und die Umgebung von München immer vertreten waren.

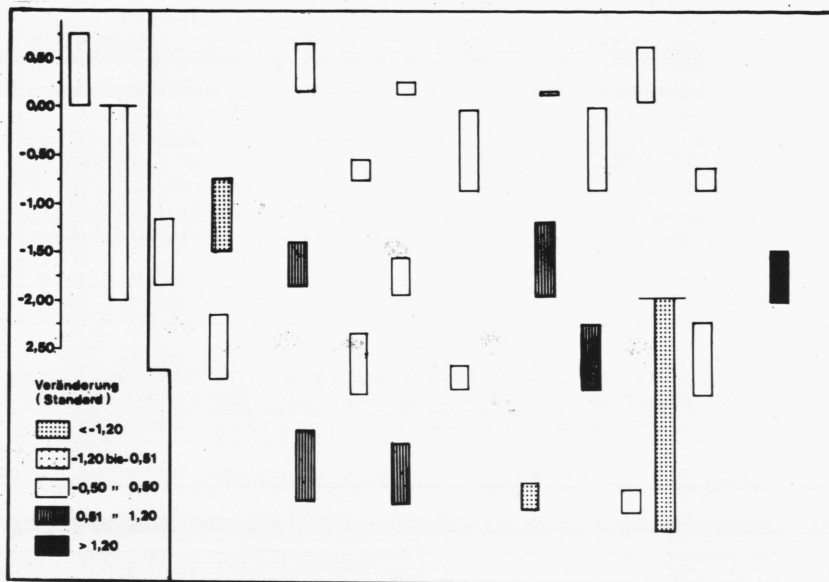
Beachtung sollte auch die Tatsache finden, daß die aufkommensstärkste Quelle 14 kaum Änderungen ihrer räumlichen Widerstandsfunktion beim Übergang von der Approximation auf Stufe 3 zur regional differenzierten Approximation auf Stufe 5 erfährt. Daneben ist die Tendenz zur Spezialisierung im Sinne einer Geringschätzung des Aufwands mit zunehmender Entfernung stark bei Quellen in Südbayern vertreten.

All diese Aussagen sind an einem Punktmuster erzielt, in dem Punktdichtevariationen kaum auftreten, somit nicht die Auswahl der Verkehrsschwerpunkte für die gewonnenen Aussagen verantwortlich gemacht werden kann.

Welche Verbesserungen der Approximation werden mit dem Einsatz des erweiterten Konkurrenzmodells erzielt? Zunächst einmal erhöht sich das Bestimmtheitsmaß von 0,632 auf 0,660. Tab. 38 des TA weist aus, daß diese Verbesserungen regional unterschiedlich sind; d.h. es treten auch Verschlechterungen auf, die in den Fällen VB 3,6,12,16, 21 die auf Stufe 1 erzielten Werte unterschreiten. Von den insgesamt 9 Verschlechterungen gegenüber Stufe 3 treten fünf bei VB mit sehr geringem Versandaufkommen auf (VB 3,6,12,16,23). Die Tatsache, daß überhaupt Verschlechterungen auftreten, weist auf den Einfluß des Gesamtsystems, vor allem auf den Einfluß der Aufkommenseinschätzung der jeweiligen Nachbar-Quellen hin, so daß für eine Verbesserung nicht allein die Quelle verantwortlich ist, sondern die Gesamtveränderungen im System.

Bei Betrachtung der räumlichen Verteilung der absoluten wie auch der relativierten Bestimmtheitsmaße sind keine räumlichen Gesetzmäßigkeiten festzustellen (Abb. 110). Nach wie vor überwiegen durchschnittliche Veränderungen, die sich immer in Nachbarschaft mit über- oder unterdurchschnittlichen Veränderungen befinden.

Abb. 110 Modellapproximation Stufe 5; 'Hexagonal': Absolutes Bestimmtheitsmaß und standardisierte Veränderungen des Bestimmtheitsmaßes gegenüber Stufe 1



Kartographie E. Ardelean

Auch die Entropien der Gesamt- sowie der Einzelverteilungen haben sich geändert. Die relative Entropiedifferenz weist gegenüber Stufe 3 einen höheren Wert auf, liegt aber immer noch unter dem Wert für die Originalmatrix. Auch fast alle Entropiewerte für Einzelverteilungen übertreffen wieder jene der Originalmatrix. Lediglich für die Quellen 3 und 16 liegen sie unter denen der beobachteten Verteilungen. Dagegen haben die Entropien im Vergleich zur Stufe 3 in zwei Drittel der Fälle abgenommen, sind also in fast allen diesen Fällen näher an die wahren Werte gerückt, während in sieben Fällen, bei denen auch der Exponent über demjenigen der Stufe 3 liegt, eine Zunahme der Entropie zu verzeichnen ist.

Faßt man diese Ergebnisse zusammen, ergibt sich:

1. Durch Vorgabe regional differenzierter Aufwandsgrößen wird wegen Beibehaltung der übergeordneten Modellhypothese die Approximation im Mittel nicht beseitigt.
2. Nach wie vor kommt es zu unterschiedlich guten Approximationen, sowohl absolut als auch relativ betrachtet. Dabei kann beim Übergang von Stufe 3

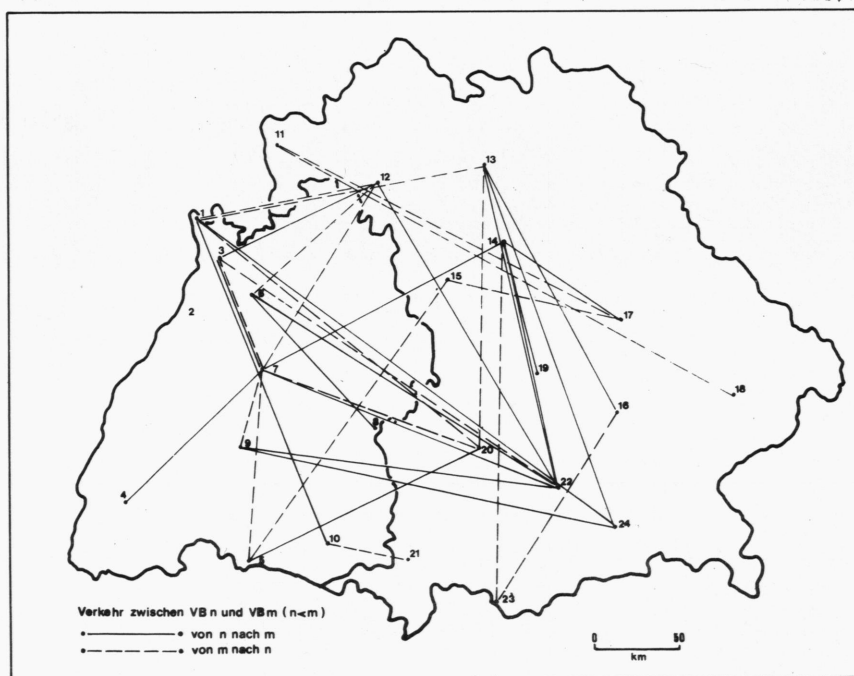
zu Stufe 5 nicht nur mit Verbesserungen gerechnet werden. Entscheidend ist, wie die vorgegebenen realen Aufwandsgrößen in das Modellkonzept passen, so daß nicht durch extreme Nachbarschaftsbeeinflussungen die Vorteile der individuellen Festsetzung des Exponenten der Entfernungsfunktion aufgehoben werden.

3. Die übergeordnete Modellhypothese führt auch weiterhin zu einer Schätzung der Ungewißheit, die über der tatsächlichen liegt, jedoch gegenüber Stufe 3 verbessert ist.

Betrachtet man wieder das Auftreten guter Approximationen von Einzelrelationen mit Abweichungen von maximal $\pm 10\%$ des zu bestimmenden Wertes, dann fallen einige Unterschiede zu Stufe 3 auf (vgl. Tab.44 des TA, Abb. 111):

- (i) Die annähernd gleich vielen Relationen, von denen nur ein Drittel schon in Stufe 3 auftrat, verteilen sich auf 17 Quellen. Damit gehen von jeder dieser Quellen im Schnitt zwei solcher Relationen aus. Tatsächlich gibt es fünf Quellen mit drei und mehr solcher Relationen.

Abb. 111 Modellapproximation Stufe 5; 'Hexagonal' : Mit einem Fehler unter 10 % approximierte Versandrelationen; wegen Darstellbarkeit Verwendung von 'Süd-VB'



Kartographie E. Ardelean

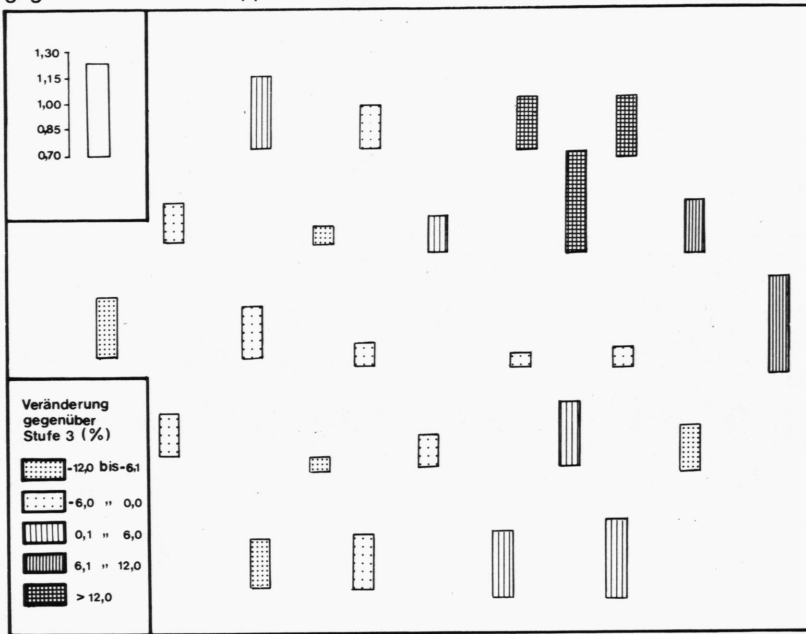
- (ii) Betrachtet man die Verteilung der ordinalen Entfernungen, über die diese Beziehungen geführt werden, dann hat sich gegenüber Stufe 3 eine Verschiebung zu kürzeren Distanzen durchgesetzt. Ein Blick auf Abb. 111 zeigt jedoch ebenfalls keine räumlich signifikante Verteilung dieser Verbindungen, wenn auch Rand-Rand-Verbindungen recht selten sind.
- (iii) Die Empfangs-Schwerpunkte Senken 7 und 22 treten als Ziele solcher Verbindungen sehr deutlich hervor, jedoch sind die übrigen Ziele gleichmäßig über den Gesamttraum verteilt.
- (iv) Betrachtet man die Bedeutung dieser Relationen für die Erklärung der Verkehrsverteilung der jeweiligen Quelle, dann ist diese deutlich gestiegen. Waren es auf Stufe 3 rund 9% im Schnitt, so liegt der Anteil am Gesamtversand einer Quelle bei 14% auf Stufe 5, wobei die Streuung dieser Anteilswerte abgenommen hat.

Faßt man diese Beobachtungen zusammen, dann wird deutlich, daß hier erste Ansätze einer gezielten Verbesserung der Approximation auf Stufe 5 erkennbar sind, die die Approximation im Mittel für das Gesamtsystem zwar als vorherrschend erscheinen lassen, dennoch im Einzelfall gezielt regional gute Approximationen nicht ausschließen.

Wendet man sich der Darstellung der Modellmatrix als Norm zu, obwohl hierfür die Bedingungen nicht ganz erfüllt sind, dann wird diese Aufgabe auf Stufe 5 schwieriger. Nicht nur die Raumvariablen und die Aufkommensmengen, sondern auch die regional differenzierten Exponenten beeinflussen die räumliche Konkurrenz. Demzufolge wird die bekannte Verteilung der B-Werte deformiert: die zentrumsnahen Senken der Zwischenlage weisen z.T. niedrigere Werte als die zentral gelegenen auf, randliche Senken z.T. höhere Werte als die randnahen Senken der Zwischenlage. Dennoch erkennt man, wenn auch abgewandelt, das ursprüngliche Bild (vgl. Abb. 112).

Vergleicht man nun die Verteilung der B-Werte der Stufe 5 mit jener der Stufe 3, dann ergibt sich, daß alle bis auf eine Senke in Baden-Württemberg und nur vier der bayerischen Senken niedrigere B-Werte auf Stufe 5 haben als auf Stufe 3. D.h.: in der verbesserten Norm hat die Versandkonkurrenz an den Senken in Baden-Württemberg zugenommen.

Abb. 112 Modellapproximation Stufe 5; 'Hexagonal': B-Werte mit Veränderung gegenüber der Modellapproximation auf Stufe 3 in % von Stufe 3



Kartographie E. Ardelean

Dies ist die Antwort des erweiterten Konkurrenzmodells auf die Vorgabe von regional differenzierten Versand-Aufwandsgrößen, die sich an der Existenz von Interaktionsblöcken orientieren. Zwar kann das Modell keine Interaktionssperren oder -erschwerisse als Grenzlinie nachbilden. Aber es kann

- durch Erhöhung des Exponenten,
- durch Erhöhung der Versandkosten an den Senken

die Interaktion innerhalb Baden-Württembergs intensivieren, jedoch jene von Bayern nach Baden-Württemberg dämpfen. Freilich haben bayerische Senken relativ hohe Empfangs-Ausgleichsfaktoren, was ja bekanntlich Interaktionen fördert. Dies trifft aber nur auf grenznahe Relationen zu, denn bei allseits höherem Exponenten in Baden-Württemberg nehmen die Interaktionsintensitäten stärker mit der Entfernung ab, so daß nur grenznahe baden-württembergische Quellen die höhere Attraktivität bayerischer Senken ausnützen können.

5.3.2 Approximation unter Punktmuster Süd-VB

Der Übergang von Punktmuster 'Hexagonal' zu Punktmuster 'Süd-VB' führt zu einer Verstärkung des Einflusses der Raumvariablen 'relative Lage', da die Punktdichte lokal beträchtlich schwanken kann. Hierzu wurden schon in Kapitel 3 Betrachtungen angestellt.

Auch für dieses Punktmuster erhält man auf Stufe 3 einen gemeinsamen Exponenten, der für den Gesamtverkehr die Tendenz zur Gleichverteilung betont, jedoch über jenem des Hexagonalmusters liegt. Das Bestimmtheitsmaß für das Gesamtsystem bleibt mit 0,616 unter jenem bei Verwendung von 'Hexagonal'.

Tabelle 43

Modellapproximation der vorgegebenen VSM auf Stufe 3 des Konkurrenzmodells - Punktmuster Süd-VB -
(Auszug aus Tab. 52 des TA)

	Ergebnisse Stufe 3	zum Vergleich: Stufe 1
Exponent	0,714	0,000
Bestimmtheitsmaß (Gesamtsystem)	0,616	0,544
Regionale Bestimmtheits- maße (Versand)		
\bar{x}	0,436	0,324
s	0,258	0,225
v	0,592	0,692
max	0,855	0,684
min	- 0,184	- 0,091
range	1,039	0,775
Rel. Entropiedifferenz	0,034	0,000

Betrachtet man die Verteilung der absoluten Bestimmtheitsmaße für den Versand der VB (Abb. 113), fällt die gleichmäßig gute Approximation der baden-württembergischen VB auf, wohingegen in Bayern extreme Werte dicht beieinander liegen können. Die vorgenommene Relativierung korrigiert dieses Bild insofern, als die Ausgangsbasis auf Stufe 1 in Baden-Württemberg relativ gut ist, so daß die durch Heranziehen der Raumvariablen erzielten Verbesserungen in zwei Fällen unterdurchschnittlich, in der Hälfte der Fälle durch-

Abb. 113 Modellapproximation Stufe 3; 'Süd-VB' : Absolutes Bestimmtheitsmaß und standardisierte Veränderungen des Bestimmtheitsmaßes gegenüber Stufe 1

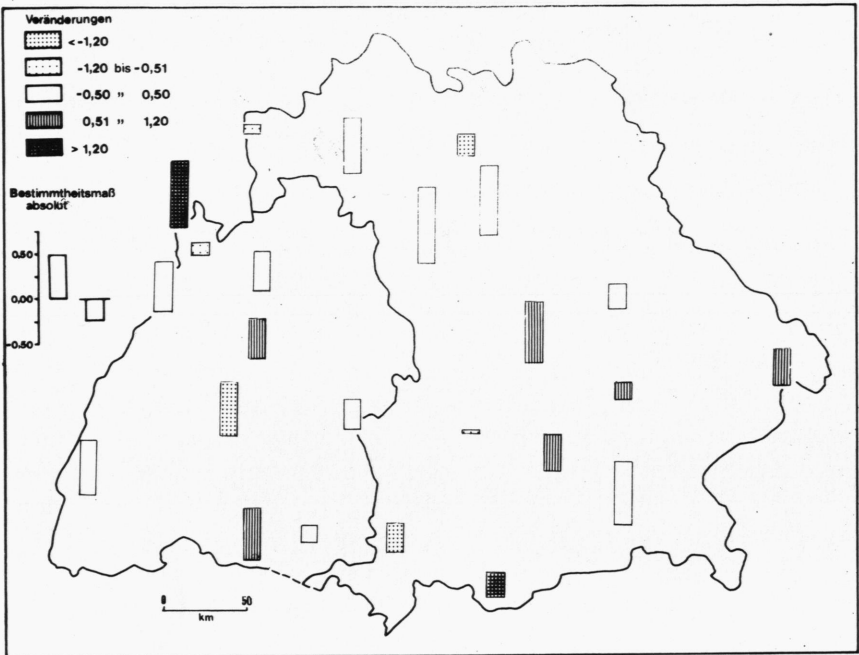
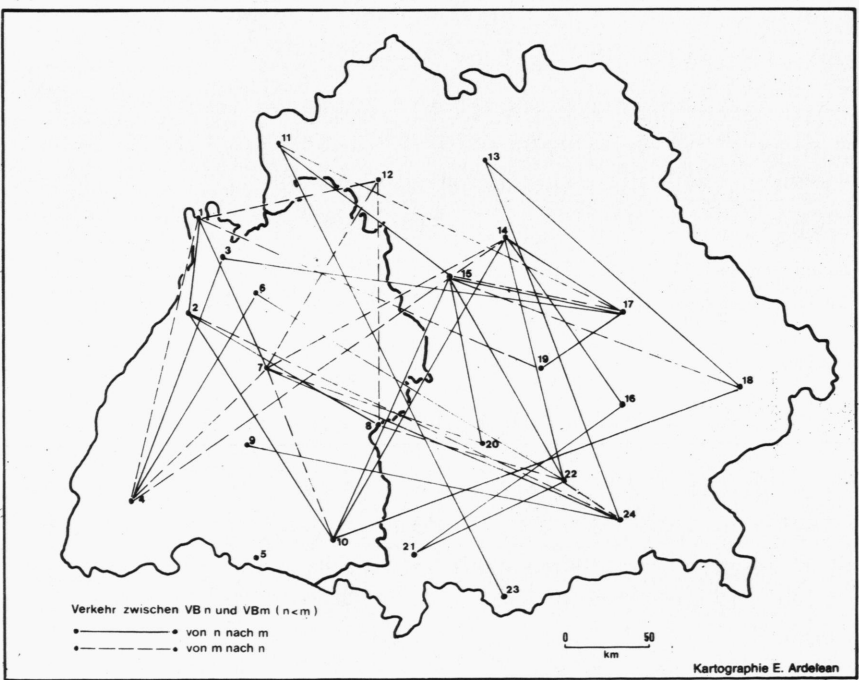


Abb. 114 Modellapproximation Stufe 3; 'Süd-VB' : Mit einem Fehler unter 10 % approximierte Versandrelationen



schnittlich und nur in drei Fällen als überdurchschnittlich zu beurteilen sind. In Bayern ergeben sich vor allem für die Mitte und den Osten recht gute Verbesserungen gegenüber Stufe 1.

Tab. 43 zeigt die weitgehende Übereinstimmung statistischer Kennzahlen des regionalisierten Bestimmtheitsmaßes mit jenen für Punktmuster 'Hexagonal' (Tab. 39).

Ähnlichkeiten zwischen 'Hexagonal' und 'Süd-VB' bestehen auch hinsichtlich der Entropie der berechneten Modellverteilung. Sowohl die relative Entropiedifferenz als auch die Einzelentropien überschätzen (mit Ausnahme von Quelle 20) die im realen System vorhandene Unsicherheit über die Beziehungen von Quelle und Senken im Gesamttraum bzw. für die Einzelverteilungen.

Bis hierher würde eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Modellapproximation gleichbedeutend wie in 5.3.1 für Stufe 3 sein. Betrachtet man jedoch die gut angenäherten Relationen (Abb. 114, Tab. 45 des TA), so stellt man fest, daß der Übergang zum Punktmuster 'Süd-VB'

- eine Zunahme der Anzahl dieser Relationen um 16% und des Erklärungswertes von durchschnittlich 9% auf 14% des jeweiligen Gesamtversands bringt,
- eine deutliche Bevorzugung von kürzeren und mittleren ordinalen Entfernungen erkennen läßt (2/3 der Ziele liegen innerhalb der ordinalen Entfernung 12),
- eine (weniger ausgeprägte) Erhöhung der Bedeutung dieser Relationen für die jeweils versendende Quelle zu beobachten ist.

Dennoch bedeutet dies keine Abkehr von der Approximation im Mittel. Es darf jedoch als Hinweis aufgefaßt werden, daß das Punktmuster 'Süd-VB' für mehr Relationen auf Stufe 3 hinsichtlich der beiden Raumvariablen zur Erklärung geeignet scheint. Hinsichtlich der Lage dieser Relationen können ebenso wie bei 'Hexagonal' kaum Aussagen gemacht werden, wenngleich auch hier Rand-Rand-Verbindungen selten sind und gewisse Senken als Ziele öfter auftreten (7,15,22) als andere.

Betrachtet man die Modellmatrix als Norm zur Beurteilung der beobachteten Verkehrsverteilung, so ist der gegenüber 'Hexagonal' größere Einfluß der Raumvariablen 'relative Lage' auf die Bezugsbasis hervorzuheben. Untersucht man hierzu die räumliche Variation der Versandkonkurrenz in ihrem Reziprok, den B-Werten, dann können die Einflüsse des Punktmusters sehr gut abgelesen werden (vgl. Tab. 52 des TA). Vermochten bei Punktmuster 'Hexagonal' die Aufkommensvariationen nicht die Gesamttendenz der Verteilung zu stören, so liegen hier die Extrema im Vergleich zum Idealmuster wesentlich verschoben. Die beiden höchsten Werte der Versandkonkurrenz treten in unmittelbarer Nachbarschaft der aufkommensstarken Quellen 7 und 14 auf, wobei nur Senke 15 zentral liegt, Senke 6 jedoch der zentrumsnahen Zwischenlage zugerechnet werden kann. Die Senken 4 und 18 in extremer Randlage weisen auch die niedrigste Versandkonkurrenz auf, nicht jedoch die zum Rand zählende Senke 13, deren Versandkonkurrenz ebenfalls von Quelle 14 beeinflusst ist. Schon besprochen in Kapitel 3 wurden die Auswirkungen der Punktdichteveriation im NW Baden-Württembergs, wo Quelle 3 ebenfalls eine hohe Versandkonkurrenz besitzt, obwohl sie zur randnahen Zwischenlage gerechnet werden muß.

Modellapproximation auf Stufe 5

Auf Stufe 5 ergeben sich bei der Bestimmung der Exponenten für die aufkommensschwachen VB 3 und 6 Schwierigkeiten, so daß Approximationen angenommen werden. Dessen ungeachtet zeigen die Exponenten der Quellen eine weitaus größere Streuung als bei der Vergleichsberechnung unter 'Hexagonal' (vgl. Tab. 44). Das arithmetische Mittel liegt über, der Median unter dem in Stufe 3 ermittelten gemeinsamen Exponenten. Die Interquartil-Variationsbreite bestätigt die große Streuung der Werte, so daß hierfür nicht die Schätzwerte der Quellen 3 und 6 verantwortlich gemacht werden können.

Versucht man mit der in 5.3.1 beschriebenen Methode der Trend-Oberflächenanalyse die Bedeutung des Exponenten für die Verkehrsverteilung abzuklären (vgl. Abb. 115), so stellt sich wieder heraus, daß

- extremen Werten für den Exponenten auch entsprechende Aussagen über den Verteilungstyp (Marktbeherrschung, Spezialisierung) zugeordnet werden können,
- bei Werten näher zum arithmetischen Mittel die Einflüsse der relativen Lage beachtet werden müssen. Dabei bleiben Umordnungen auf Werte unter bzw. über dem gemeinsamen Exponent der Stufe 3 beschränkt.

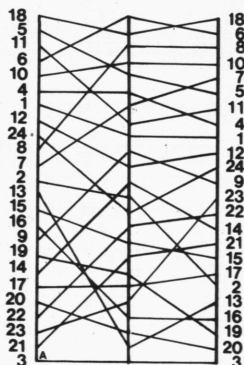
Tabelle 44

Modellapproximation der vorgegebenen VSM mit Stufe 5 des Konkurrenzmodells - Punktmuster Süd-VB - (Auszug aus Tab. 53 des TA)

Regionalisierte Exponenten		Bestimmtheitsmaß	
Statist. Kennzahlen		Statist. Kennzahlen	
\bar{x}	1,124	global	0,680
s	1,547	regional (Versand)	
v	1,376	\bar{x}	0,189
1.Quartil	0,318	s	1,271
Median	0,507	v	6,704
3.Quartil	1,891	max	0,826
3.Qu. - 1.Qu.	1,573	min	- 5,195
max	2,000	range	6,021
min	- 5,000		
range	7,000	Rel. Entropiediff.	0,094

Abb. 115 Modellapproximation Stufe 5; 'Süd-VB': Vergleich der Reihungen der VB nach dem auf Stufe 5 ermittelten Versandexponent mit jenen nach dem vollständigen bzw. quadratischen Trendoberflächenansatz zur Beschreibung der räumlichen Widerstandsfunktion

(a_1, \dots, a_5) Exp. (a_1, a_2)



Exp. : Versandexponent

(a_1, \dots, a_5) : vollständiger Trendoberflächenansatz

(a_1, a_2) : quadratischer Trendoberflächenansatz

$\rho(\text{Exp.}, (a_1, \dots, a_5)) = 0,81$
Spearman

$\rho(\text{Exp.}, (a_1, a_2)) = 0,93$
Spearman

Man beachte, daß für die Parameter der genaueren Beschreibung (a_1, \dots, a_5) die Umordnungen wesentlich zahlreicher und gravierender sind als vergleichsweise bei 'Hexagonal', was sich auch in dem relativ niedrigen Rangkorrelationskoeffizient von Spearman ($r = 0,806$) niederschlägt.

Unter den Quellen mit den zehn höchsten Werten für den Exponenten (den quadratischen Ansatz; den vollständigen Trend-Oberflächen-Ansatz) befinden sich 8 (7;6) VB aus Baden-Württemberg, so daß auch hier das Modell versucht, die Existenz zweier unterschiedlicher Interaktionsblöcke in den Modellparametern einzufangen. Die Punktdichtevariationen lassen die Werte für die Exponenten extremer ausfallen als bei Punktmuster 'Hexagonal'. Daß es sich jedoch tatsächlich um unterschiedliche Verhaltensmuster in den Interaktionsblöcken handelt, die unabhängig von der Wahl des Punktmusters auftreten, zeigt die Modellapproximation auf Stufe 5 bei Verwendung von 'Hexagonal'.

Wendet man sich den Bestimmtheitsmaßen zu (vgl. Tab. 38 des TA und Tab. 44), erweist sich der Übergang von Stufe 3 auf Stufe 5 für das Gesamtsystem als vorteilhaft. Das globale Bestimmtheitsmaß liegt über dem vergleichbaren von 'Hexagonal', jedoch sind fünf der 24 regionalen Bestimmtheitsmaße für die lokale Versandverteilung niedriger als auf Stufe 1, bei insgesamt 10 Quellen verschlechtert sich das Bestimmtheitsmaß gegenüber Stufe 3, worunter fünf versandschwache Quellen (VB 3,6,16,19,23) zu finden sind.

Diese globale Verbesserung der Modellapproximation wird nicht getragen von einer Verbesserung der Näherung von Einzelrelationen (vgl. Tab. 46 des TA, Abb. 116). Tatsächlich vermindert sich die Zahl der gut approximierten Relationen um ein Viertel, wovon nur 12 der 33 Relationen auch in Stufe 3 gut approximiert werden. Der Erklärungswert sinkt ebenfalls, jedoch sind es immer noch in der überragenden Mehrzahl gewichtige Beziehungen, die gut approximiert werden. Ebenfalls hält sich der Trend zu ordinal kurzen Distanzen: zwei Drittel der angesteuerten Ziele liegen innerhalb der ordinalen Entfernung 12 von der jeweiligen Quelle.

Die Verteilung dieser Relationen ist nicht mehr so gleichmäßig wie in vorangegangenen Fällen, was u.U. auf die recht hohen Exponenten und den Fortfall von Relationen über weite Entfernungen zurückgeführt werden kann.

Keine Unterschiede zu 'Hexagonal' ergeben sich bei Betrachtung der Entropien (vgl. Tab. 39 des TA). Auch auf Stufe 5 unter Punktmuster 'Süd-VB' wird die Ungewißheit über die Beziehungen von Quelle und Senken sowohl im Gesamtsystem als auch für die Einzel-Verkehrsverteilungen überschätzt, wobei jedoch drei Ausnahmen zu verzeichnen sind (VB 3,6,18).

Nimmt man trotz der fünf Abweichungen die Bedingung der Verwendung des modellhaft berechneten Verkehrs als Norm als erfüllt an, dann zeichnet sich diese Bezugsbasis gegenüber Stufe 3 durch eine Anpassung der Konkurrenzverhältnisse an die Realität aus (Abb. 117). Auch hier stellt man fest, daß acht der zehn baden-württembergischen Senken gegenüber Stufe 3 höhere Versandkonkurrenzen haben, jedoch nur drei bayerische, bei denen zudem die Erhöhung geringer ausfällt. Zu Senke 1 mit einer gegenüber Stufe 3 verringerten Versandkonkurrenz kommt noch innerhalb Baden-Württembergs Senke 4, ein Verkehrsschwerpunkt, der neben seiner extremen Randlage nun auch durch einen sehr hohen Exponenten ausgezeichnet ist.

Abb. 116 Modellapproximation Stufe 5; 'Süd-VB' : Mit einem Fehler unter 10 %
approximierte Versandrelationen

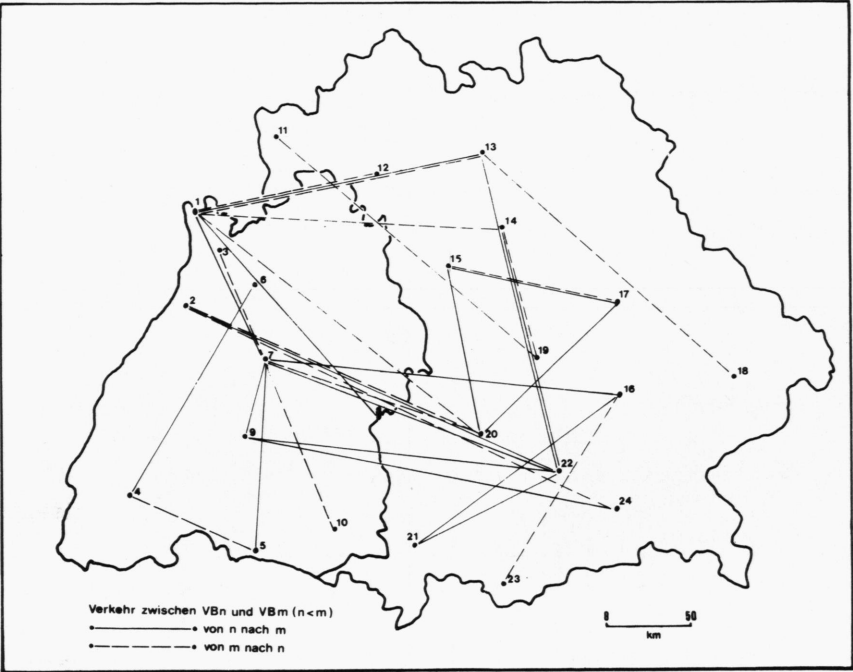
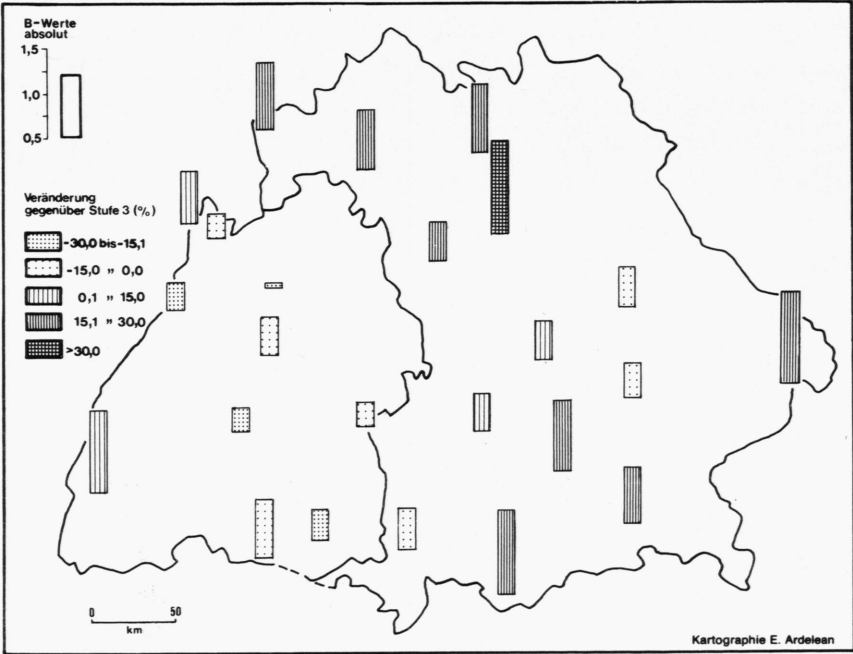


Abb. 117 Modellapproximation Stufe 5; 'Süd-VB' : B-Werte mit Veränderung
gegenüber der Modellapproximation auf Stufe 3 in % von Stufe 3



5.4 NOCHMALIGE MODELLERWEITERUNG UND ZUSAMMENSCHAU DER ERGEBNISSE DER MODELLAPPROXIMATION

5.4.1 Modellerweiterung über Stufe 5 hinaus

Überblickt man die bisher geleisteten theoretischen Ansätze zur Verkehrsverteilung, dann muß auf zwei weiterführende Ansatzpunkte hingewiesen werden:

- (i) die verbesserte Einhaltung der Nebenbedingungen und damit eng verknüpft die Form der Ausgleichsfaktoren,
- (ii) die Betrachtung der Verkehrsverteilung auch aus der Sicht der Senken.

ad (i). Die in 2.5 hergeleitete Form der Ausgleichsfaktoren wurde allen bislang durchgeführten Berechnungen zugrunde gelegt. Sie konnte aus einer räumlichen Betrachtungsweise hergeleitet und begründet werden, gestattete aber keine genaue Einhaltung der Nebenbedingung (1), worauf verschiedentlich hingewiesen wurde. Gerade hier liegen Chancen zur Verbesserung der Modellapproximation. Erinnerung sei an den Versuch in Kapitel 3, die zu approximierende Verkehrsstrommatrix auf Stufe 2 des Modells zurückzuführen. Allein dieser Übergang nimmt so viel von der Struktur der Verkehrsverteilung weg, daß dieser Schritt zwar zur Erprobung des Konkurrenzmodells gerechtfertigt erscheint, jedoch der Entropie-Maximierungshypothese zuwider läuft. Man denke nur an den sprunghaften Anstieg des Bestimmtheitsmaßes auf Stufe 3 für beide Punktmuster.

In 2.5 wurde darauf hingewiesen, daß es sich bei der verwendeten Form für die Ausgleichsfaktoren um die Anfangswerte des Furness-Iterationsverfahrens handelt. Es liegt also nahe, dieses Verfahren mit in das Modell hineinzunehmen, um die vollständige Einhaltung der Nebenbedingung (1) zu gewährleisten. Dabei ändern sich vor allem im Vergleich zu Stufe 3 bzw. Stufe 5 die A-Werte, während die B-Werte weitgehend unbeeinflusst bleiben. Freilich läßt sich nunmehr kein geschlossener Ausdruck für die Ausgleichsfaktoren angeben; hingegen bleibt ihre Interpretation dann unverändert,

wenn auch die Definition der räumlichen Konkurrenz als Reziprok der A- bzw. B-Werte - nach Furness ermittelt - erweitert wird.

ad (ii). Das Auftreten von Interaktionen wird i.a. etwas unscharf mit bestehenden Spannungen, dem gleichzeitigen Vorhandensein von Mangel und Überfluß oder präziser mit der Komplementarität zweier Verkehrsknoten begründet. Alle diese Vorstellungen beziehen zwei oder mehrere, räumlich getrennte Punkte aufeinander. Dabei scheinen beide Partner verantwortlich für das Zustandekommen einer Interaktion zu sein, wie Ullman [246] ja mit seinem Begriffssystem zu zeigen versucht.

Überprüft man die Ansätze zur Modellerweiterung, dann ist eine Bevorzugung des Standpunktes des Versenders, der Quelle, unverkennbar:

- Zwar werden zwei Arten von Ausgleichsfaktoren berechnet, die sich auf die Versandkonkurrenz (an der Senke gemessen) und auf die Empfangskonkurrenz (an der Quelle gemessen) beziehen, jedoch
- besitzt in Stufe 5 nur die Quelle die Möglichkeit, ihre eigene Aufwandseinschätzung vorzunehmen, die sich im regional differenzierten Exponenten der Entfernungsfunktion ausdrückt.

Dabei kann vermutet werden, daß auch die Empfänger Einfluß auf die Verkehrsverteilung nehmen. So treten in der Realität sowohl Anbieter als auch Käufer als Initiatoren von Verkehrsbeziehungen auf. Bei vielen Gütern bestimmt darüber hinaus der Empfänger das Verkehrsmittel und die Fahrtroute bei anfallenden Lieferungen.

Betrachtet man noch einmal die bislang beobachteten und errechneten Bestimmtheitsmaße und Entropien, so wird man feststellen, daß abgesehen von den vorhandenen Unterschieden der Verkehrsschwerpunkte in ihrer Bedeutung als Versender oder Empfänger auch die Bestimmtheitsmaße bei allen Stufen und Punktmuster hinsichtlich Versand- und Empfangsverteilung differieren (vgl. Tab. 38 des TA).

Der einzuschlagende Weg ist nach diesen Vorbemerkungen klar: auch den Senken wird eine regional differenzierte Entfernungsfunktion zugeordnet, deren (Empfangs-)Exponenten aus den regionalisierten Aufwandsgrößen für den Empfang ermittelt werden. Dabei bleibt die übergeordnete Modellhypothese der Entropie-Maximierung im Gesamt-raum unangetastet. Der Verkehrsfluß von Quelle i nach Senke j wird durch Beziehung (29) gegeben:

$$(29) \quad T_{ij} = V_i E_j A_i B_j d_{ij}^{-\alpha_i} d_{ij}^{-\beta_j}$$

Es ist zu bemerken, daß sich diese Beziehung schon bei Wilson [256] findet; allerdings entspricht sie nicht, wie dort angegeben, dem Modell von Edens.

Einige Anmerkungen sind zu dieser neuerlichen Modellerweiterung zu machen:

1. Mit der Hinzunahme des variablen Empfangs-Exponenten β hat sich das Verhältnis von zu ermittelnden Modellparametern und daraus abgeleiteter Verkehrsverteilung weiter verschoben. Im vorliegenden Fall stehen 552 zu schätzenden Relationen 96 zu ermittelnde Modellparameter gegenüber, die zur Schätzung benötigt werden. Zweifellos läßt sich die Einzelstruktur der Verkehrsverteilung noch besser einfangen, jedoch muß vor einem übertriebenen Aufwand gewarnt werden.
2. Ausgleichsfaktoren und Teilexponenten sind noch enger miteinander verflochten, so daß eine Einzelbetrachtung nur der Exponenten ausscheidet. Statt dessen muß wie bisher die regionale Widerstandsfunktion der Einzel-VB bzw. die Präferenzverteilung herangezogen werden.
3. Dabei erweisen sich die Widerstandsfunktionen regional noch differenzierter als auf Stufe 5, so daß auch Selektivitäten besser nachgebildet werden können.

Auf eine eingehende theoretische Darstellung der Erweiterung wird verzichtet, zumal viele Eigenschaften auf Stufe 5 schon dargestellt wurden. Außerdem wird diese Erweiterung nur unter Punktmuster 'Süd-VB' angewandt, da unter diesem der größte Erklärungszuwachs erwartet wird.

5.4.2 Ausgewählte Aspekte der Anwendung der Modellerweiterung

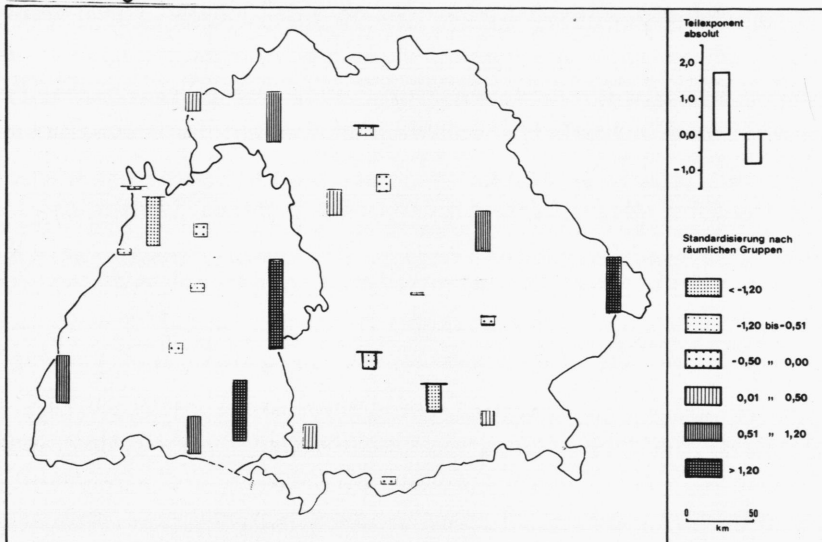
Eine Untersuchung der in Tab. 49 des TA aufgeführten Einzelexponenten zeigt, daß sowohl die Versand- als auch Empfangsexponenten in ihren Werten sehr stark streuen (vgl. auch Tab. 45). Dabei liegt das arithmetische Mittel für den Versand unter dem gemeinsamen Exponenten auf Stufe 3, jenes für den Empfang darüber. Betrachtet man die räumliche Verteilung der absoluten Werte (Abb. 118, 119), stellt man für den Versandexponenten Klumpen in Süd-Baden-Württemberg und Ost-Bayern fest, soweit es sich um extrem hohe Werte handelt. Dagegen scheinen die hohen Empfangsexponenten überwiegend in Bayern konzentriert zu sein. Ein Vergleich zeigt, daß kaum Übereinstimmungen zwischen Versand- und Empfangsexponent eines Verkehrsschwerpunktes bestehen, was auch durch den niedrigen Spearman'schen Rangkorrelationskoeffizienten ($r=0,182$) für die entsprechenden Reihungen bestätigt wird. Damit ist dokumentiert, daß die Senke durchaus entscheidenden, regional differenzierten Einfluß auf die Intensität der Interaktionen nehmen kann.

Tabelle 45

Modellapproximation der vorgegebenen VSM mit nochmaliger Erweiterung der Stufe 5 des Konkurrenzmodells - Süd-VB -
(Auszug aus Tab. 49 des TA)

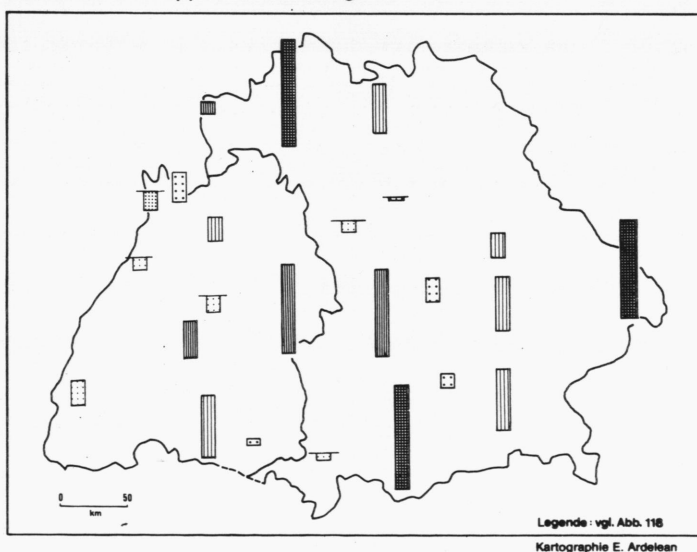
Regionalisierte Exponenten			Bestimmtheitsmaß		
Statist. Kennzahlen	Teilexponent		Statist. Kennzahlen	Versand	Empfang
	Versand	Empfang			
\bar{x}	0,504	0,970	global	0,842	0,842
s	0,835	1,116	regional		
v	1,656	1,150	\bar{x}	0,516	0,714
1.Quartil	0,034	0,060	s	0,482	0,226
Median	0,381	0,703	v	0,934	0,714
3.Quartil	1,066	1,704	max	0,934	0,986
3.Qu. - 1.Qu.	1,032	1,644	min	- 1,486	0,255
max	2,497	2,933	range	2,420	0,731
min	- 1,324	- 0,569			
range	3,821	3,502			

Abb. 118 Modellapproximation Erweiterung Stufe 5; 'Süd-VB' : Versand-Exponent der Entfernungsfunktion, absolut und standardisiert nach Gruppen relativer Lage



Die Verteilung der absoluten Werte der Teilexponenten kann ein schiefes Bild ergeben, da die Exponenten von der relativen Lage des zugehörigen Verkehrsschwerpunktes abhängig sind. Um eine Relativierung unter Einbezug der relativen Lage zu erhalten, werden die ermittelten Teilexponenten nach den ausgewiesenen räumlichen

Abb. 119 Modellapproximation Erweiterung Stufe 5; 'Süd-VB' : Empfangs-Exponent der Entfernungsfunktion, absolut und standardisiert nach Gruppen relativer Lage



Gruppen standardisiert und die so erhaltenen z-scores miteinander verglichen (vgl. Tab. 49 des TA; Abb. 118, 119). Die räumliche Verteilung hat keine wesentliche Korrektur erfahren, so daß mit einiger Sicherheit keine Abhängigkeit von relativer Lage und Aufwands-einschätzung angenommen werden kann, wenn auch räumliche Klumpen zu beobachten sind. So fällt z.B. die Zweiteilung Baden-Württembergs auf, wobei das nördliche Produktionsgebiet einschließlich VB 9, ausschließlich VB 8 relativ unter dem Durchschnitt liegende Versand-Exponenten hat, hingegen das südliche Produktionsgebiet weit über-durchschnittliche Werte aufweist.

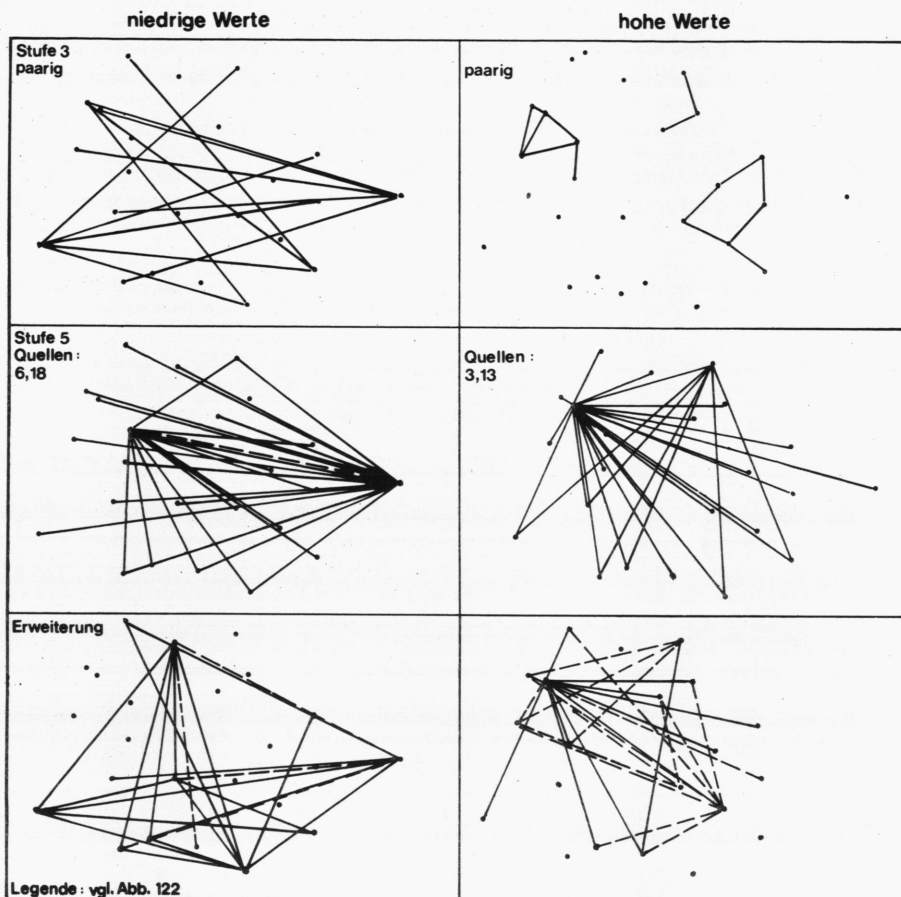
Die Verteilung der Einzelexponenten allein gibt noch kein vollständiges Bild. Man bedenke, daß jetzt jede der zu berechnenden 552 Relationen einen eigenen Exponenten der Entfernungsfunktion zugeordnet bekommt, der sich aus dem Versandexponent der Quelle i und dem Empfangsexponent der Senke j für die (i,j) -te Relation zusammensetzt. Verfolgt man die räumliche Verteilung der Werte der Entfernungsfunktion am Beispiel der 5 % höchsten und 5 % niedrigsten Werte im Verlauf der Modellentwicklung (Abb. 120), so läßt sich folgendes aussagen:

Bei einem Exponenten der Entfernungsfunktion für das Gesamtsystem - Stufe 3 - decken sich die kürzesten Entfernungen und geringsten Aufwände bzw. die längsten Entfernungen und höchsten Aufwände. Der Aufwand für eine durchzuführende Interaktion ist nur von der Entfernung abhängig und gestattet somit keine Nachbildung von räumlicher Selektivität (Abb. 120.1).

Der Übergang von Stufe 3 zu Stufe 5 bringt eine Regionalisierung der Aufwandseinschätzungen über die Regionalisierung der Versand-Exponenten. Nun sind Entfernung und Auftreten von niedrigen bzw. hohen Versandexponenten verantwortlich für die in Abb. 120.2 gezeigte Verteilung niedriger bzw. hoher Aufwände. Die Aufwandsmatrix ist nicht mehr symmetrisch, so daß jeweils zwei Quellen sehr viele angesteuerte Senken gegenüberstehen.

Zieht man die letzte Modellerweiterung heran, dann tritt der Einfluß der Entfernung für die Aufwandsbemessung der Interaktion zwischen zwei Verkehrsschwerpunkten immer mehr zurück. Entscheidend ist vielmehr die Aufwandseinschätzung der interagierenden Quelle und Senke, wie sie sich im Versand- und Empfangsexponent niederschlägt. Damit hat man zusammen mit den Ausgleichsfaktoren ein weiteres Mittel in der Hand, in begrenztem Umfang Selektivitäten bei der Verkehrsverteilung nachzubilden.

Abb. 120 Modellapproximation alle Stufen; 'Süd-VB' : Relationen mit den 5% höchsten und 5% niedrigsten Werten der Entfernungsfunktion



Kartographie E. Ardelean

Geht man zur Betrachtung des Bestimmtheitsmaßes über, dann ist eine merkliche Erhöhung des globalen Bestimmtheitsmaßes gegenüber Stufe 5 festzustellen. Die Versandverteilung konnte in 16 Fällen, die Empfangsverteilung in 18 Fällen jeweils im Mittel besser angenähert werden (vgl. Tab. 38 des TA). Die regionalen Bestimmtheitsmaße bleiben beim Versand in einem Fall, beim Empfang in zwei Fällen unter jenen der Stufe 1, so daß in guter Annäherung eine Erfüllung der 'Norm-Bedingung' festgestellt werden kann. Abb.121 zeigt die

Abb. 121 Modellapproximation Erweiterung Stufe 5; 'Süd-VB': Absolutes Bestimmtheitsmaß und standardisierte Veränderung des Bestimmtheitsmaßes gegenüber Stufe 1

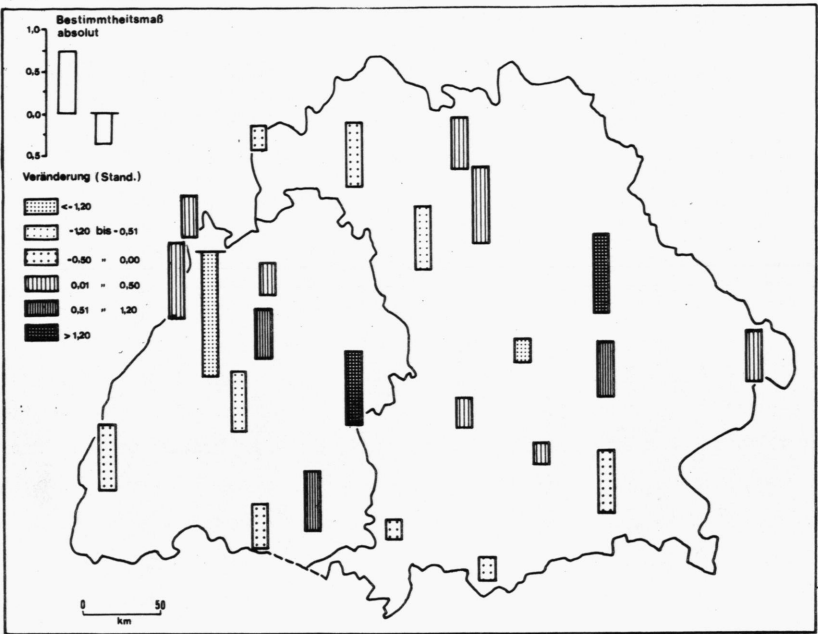
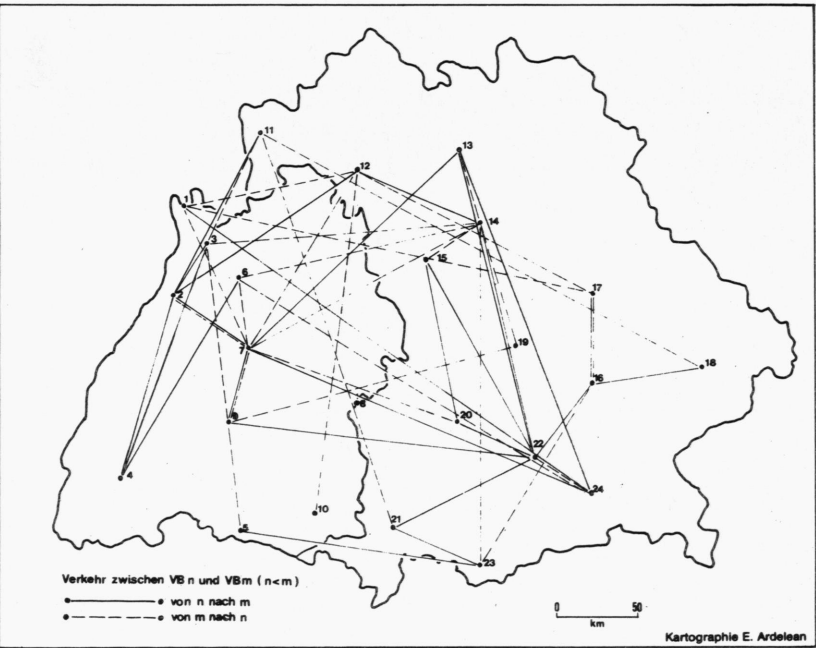


Abb. 122 Modellapproximation Erweiterung Stufe 5; 'Süd-VB' : Mit einem Fehler unter 10% approximierte Versandrelationen



geschlossene Anhebung des absoluten Versand-Bestimmtheitsmaßes gegenüber Stufe 5. Dabei scheint ein schlechter approximiertes Gebiet in Süd-Bayern zu liegen.

Bei Betrachtung der Entropien der Modellmatrix ergibt sich wieder eine Überschätzung der Ungewißheit über die Verkehrsverteilungen im Gesamtsystem. Jedoch weisen die z.T. guten Näherungen der Einzelwerte und der bisher höchste Wert für die relative Entropiedifferenz darauf hin, daß in zunehmendem Maße Selektivitäten und andere regionale Eigentümlichkeiten der zu approximierenden Verkehrsverteilung Berücksichtigung finden (vgl. Tab. 39 des TA)

Diese Aussage wird durch die Tab. 48 des TA der bestapproximierten Relationen bestätigt (vgl. auch Abb. 122). 9% der anzunähernden Relationen werden mit weniger als $\pm 10\%$ Fehler im Modell reproduziert, wobei es sich um überwiegend wichtige Relationen für den Versand der VB handelt. Der Erklärungswert steigt demzufolge auf 20% im Mittel, wobei das Maximum bei 52% liegt. Mehr als zwei Drittel der angesteuerten Ziele liegen innerhalb der ordinalen Entfernung 12 vom jeweiligen Versender aus gesehen, knapp die Hälfte sogar innerhalb der ordinalen Entfernung 6. Dabei sind Quellen und Ziele räumlich gleichverteilt, wenn sich auch einige Schwerpunkte (VB 7,22) herausheben.

Zusammenfassend ist festzustellen,

- daß auch die nochmalige Modellerweiterung eine Überschätzung der Ungewißheit in Verbindung mit einer Approximation im Mittel aufweist;
- jedoch die Approximation im Mittel wesentlich durch die Annäherung aufkommensstarker Relationen unter Berücksichtigung regionaler Selektivitäten gestützt wird.

5.4.3 Verteilungsmuster in der Approximation

In den nächsten drei Unterabschnitten werden die Stufen der Modellapproximation untereinander und mit der Original-VSM in Beziehung gebracht. Dabei wird der Betrachtungsmaßstab schrittweise vergrößert: stehen zunächst die Verteilungsmuster der Quellen auf VB-Ebene in ihrer Modellapproximation im Blickpunkt, so sind es im folgenden Unterabschnitt 5.4.4 die Verteilungsmuster der in 5.2.3 ausgewählten VB und in 5.4.5 die aus theoretischen Gesichtspunkten heraus abgegrenzten Teilsysteme im Nordwesten bzw. Zentrum des Untersuchungsgebietes.

Welche VB werden auf allen Stufen in ihrer Verkehrsverteilung gut bzw. schlecht approximiert? Lassen sich ihnen bestimmte Verteilungstypen zuordnen? Wie sieht das Modell die real vorgegebenen Verteilungsmuster?

Das sind die Fragen, die nachfolgend bei Betrachtung auf VB-Ebene behandelt werden sollen.

In Tab. 46 sind jene VB aufgeführt, die in beiden Punktmustern und den Stufen 3, 5 Bestimmtheitsmaße über 0,7 bzw. unter 0,1 für die Approximation der Verkehrsverteilung erreichen. Sie zeigt, daß weitgehende Übereinstimmung zwischen den beiden Punktmustern besteht.

Tabelle 46

VB mit hohem bzw. niedrigem Bestimmtheitsmaß in der Modellapproximation auf den Stufen 3 und 5, nach Punktmustern getrennt

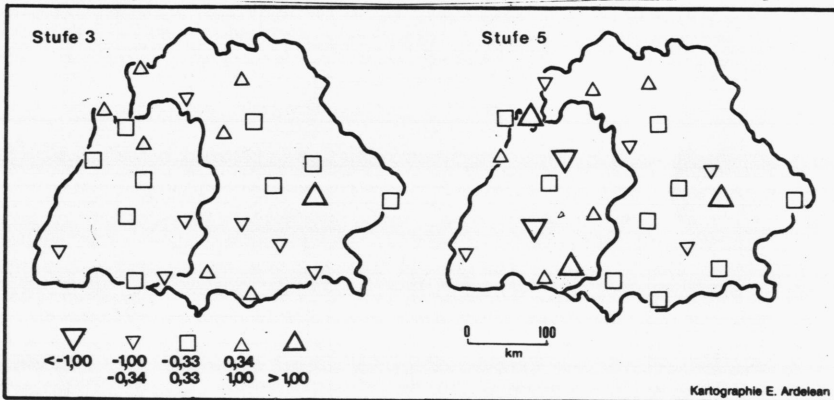
Bestimmtheitsmaß (absolut)	Hexagonal	Süd-VB	Hex \cap Süd-VB
über 0,7	14,15,19,24	14,15,24	14,15,24
unter 0,1	3,16	3	3

Fragt man sich generell, welche Vorteile die einzelnen Punktmuster für die Nachbildung mit Hilfe des Modells haben, was berechtigt ist, da die Verteilungsmuster raumabhängig, nicht rauminvariant

gedacht sind, so zeigt ein Übergang zu relativen Bestimmtheitsmaßen, daß (Abb. 123)

- auf Stufe 3, bei der die Punktmuster maßgeblich die räumliche Verkehrsverteilung beeinflussen, gleichartige Veränderungen räumlich geklumpt auftreten,
- diese Klumpen auf Stufe 5 einer räumlich zufälligen Verteilung der stärker schwankenden Veränderungen Platz machen.

Abb. 123 Modellapproximation Stufen 3, 5; beide Punktmuster: Veränderung des relativen Bestimmtheitsmaßes bei Übergang von 'Hexagonal' zu 'Süd-VB' (Wert von Süd-VB-Wert von Hex) nach Stufen getrennt



Zur Charakterisierung der Verteilungsmuster auf VB-Ebene werden für die zugehörigen Präferenzverteilungen die ordinalen Median-Entfernungen zusammen mit der Interquartil-Range herangezogen. In Abb.124 sind die VB für beide Punktmuster real und in allen Approximationsstufen dargestellt. Cluster-Analysen dieser Abbildung zur Beantwortung der noch ausstehenden Fragen haben den Vorteil, sich gut den dargestellten 2-dimensionalen Verteilungsverhältnissen anzupassen, den Nachteil, daß die so gebildeten Klassen schwer über Punktmuster und Approximationsstufen hinweg vergleichbar sind. Deshalb werden zwei andere Wege beschritten:

- (i) Die Mediane der Einzelverteilungen teilen die Ebene in vier Felder (Klassen), deren Charakteristika immer gleich sind, wenn auch die entsprechenden Medianwerte

von Teilabbildung zu Teilabbildung verschieden sind.

- (ii) Um auch einen Vergleich mit festen Klassengrenzen durchzuführen, wird für jede durchgeführte Modellapproximation die dem Punktmuster entsprechende Klasseneinteilung der Originalmatrix angewandt.

Abb. 124.1,.2 enthält die nach Medianentfernung und Interquartil-Range charakterisierten realen Verteilungsmuster. Es fällt der - nicht sehr deutlich - ausgeprägte Zusammenhang zwischen Lageparameter und Streuungsmaß auf, der in diesem abgeschlossenen System besteht und zu ungleichen Klassengrößen führt (vgl. Tab.47) Gegenüber der in 5.2.3 zu Abb. 96/97 vorgenommenen Einteilung, die nur die Median-Entfernung berücksichtigt, ergeben sich Unterschiede:

- Bayern hat großen Anteil an VB mit niedrigen Median-Entfernungen und niedriger Interquartil-Range;
- beide Länder haben etwa gleich viele VB in der Klasse der hohen Median-Entfernung und hohen Interquartil-Range.

Wegen der Raumabhängigkeit der Verteilungstypen stimmen einander entsprechende Klassen bei 'Hexagonal' und 'Süd-VB' nur ungefähr überein. Jedoch wird in Beantwortung der eingangs gestellten Frage festgehalten, daß den gut bzw. schlecht approximierten VB (Tab. 46) eindeutige Charakterisierungen in beiden Punktmustern zukommen. So gehören 14,15,24 zu jenen VB, deren Versandverteilung in Richtung Gleichverteilung einzuordnen ist, hingegen fällt VB 3 unter die Tendenz zur Marktbeherrschung. Damit ist allerdings noch nicht festgestellt, daß das Modell bei der Approximation der Verteilungstypen mit Tendenz zur Marktbeherrschung versagt. Hierzu wird auf Abschnitt 5.4.4 verwiesen.

Legt man bei den Abb. 124.3 bis .7 die Klasseneinteilung der Abb. 124.1 bzw. 124.2 zugrunde, so stellt man fest, daß mit zunehmender Approximationsstufe eine verbesserte Annäherung an die Realität erreicht wird, wenn auch keine perfekte Übereinstimmung

Tabelle 47

Charakterisierung der Original- und Modellpräferenzverteilungen mit Hilfe der ordinalen Median-entfernung und der zugehörigen ordinalen Interquartil-Variationsbreite, nach Punktmustern ge-trennt

VB	H e x a g o n a l												S ü d - V B																						
	Original				Stufe 3				Stufe 5				Zusammenfassung				Original				Stufe 3				Stufe 5				Erweit.				Zusammenfassung		
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4		1	2	3	4	
1				x				⊗	x		○		4 4 1				x			x	○	x		○					⊗	4	3	1	4		
2			x					⊗				⊗	3 4 4				x	x		○		○		⊗		x		○		4	1	4	2		
3	x						x	○	x		○		1 3 1	x			x			○			⊗			x		○		1	1	2	2		
4	x				x			○	x			○	1 1 1			x			⊗	x			○		⊗					3	4	1	1		
5	x						x	○				⊗	1 3 3			x			⊗	x			○				⊗			3	4	1	3		
6		x					x	○	x		○		2 3 1				x		x	○	⊗							⊗		4	3	1	4		
7				x			x	○	x			○	4 2 1				x			○	x			○				⊗		4	2	1	4		
8			x				x	○				⊗	3 2 4	x						○	⊗				⊗					1	4	1	1		
9				x	x			○				⊗	4 1 4		x		x			○			⊗		x		○		2	1	4	2			
10			x				x	○	⊗				3 3 1			x				⊗	⊗				⊗				3	4	1	1			
11	x							⊗				⊗	1 4 4	x						⊗	x			○			⊗		1	4	1	3			
12	x							⊗		⊗			1 4 2	x						⊗			x	○	⊗				1	4	3	1			
13				x				⊗				⊗	4 4 4				x			⊗								⊗	4	4	4	4			
14				x			x	○				⊗	4 2 4				x			⊗							⊗	4	4	4	4				
15				x				⊗	x			○	4 4 1				x			⊗				⊗			⊗	4	4	4	4				
16		x			x			○	⊗				2 1 1		x			x		○			⊗	x					2	1	4	1			
17	x				x			○				⊗	1 1 4	x			x			○			x	○	⊗				1	1	3	1			
18	x							⊗	⊗				1 4 1	x					x	○	⊗			⊗			⊗		1	3	1	1			
19				x			x	○			x	○	4 2 3		x		x			○			x	○				⊗	2	1	2	4			
20		x					x	○				⊗	2 2 4			x		x		○			⊗				⊗		3	1	4	4			
21				x	x			○		x			4 1 2		x			x		○			⊗	⊗		○			2	2	4	1			
22	x				x			○	x		○		1 1 1	x			x			○			x	○	x		○		1	1	2	1			
23	x						x	○				⊗	1 3 4	x				x		○			⊗		⊗		⊗		1	2	4	4			
24				x	x			○				⊗	4 1 4				x	x		○			x	○	x		○		4	1	3	1			

1: ($\leq m$, $\leq m$)3: ($\leq m$, $> m$)

1.Schranke: ord. Medianentf.

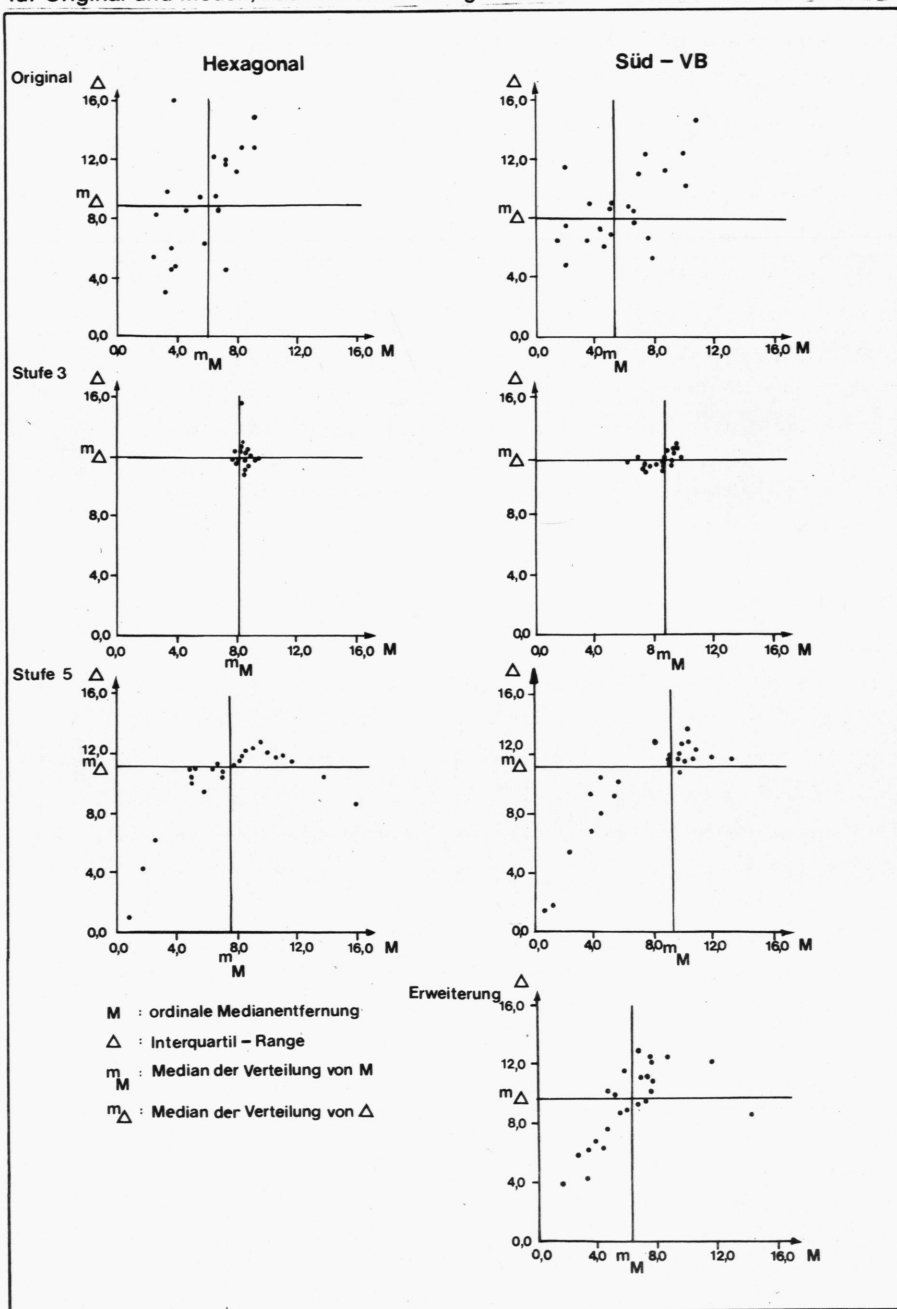
x: Einordnung nach 1.Weg

2: ($> m$, $\leq m$)4: ($> m$, $> m$)

2.Schranke: ord. Int.qu.-var.br.

O: Einordnung nach 2.Weg

Abb. 124 Modellapproximation alle Stufen; beide Punktmuster: Vergleich des Zusammenhangs von ordinaler Median-Entfernung und zugehöriger Interquartil-Range für Original und Modell, nach Punktmustern getrennt



zu beobachten ist (vgl. Tab. 47). Dies ist Weg (ii).

Weg (i) bringt die Frage nach der inneren Differenzierung des Modellabbildes einer Beantwortung näher. Betrachtet man die "modell-eigenen" Klasseneinteilungen auf den verschiedenen Approximationsstufen, so werden die Klassen auf Stufe 3 wesentlich von den Verhältnissen der räumlichen Konkurrenz bestimmt. Diese Einflüsse sind im Vergleich zur Exponent-Differenzierung der Stufe 5 so schwach, daß die Median-Entfernungen und Interquartil-Ranges der Einzel-VB insgesamt nur geringfügig variieren. Die in Weg (ii) zugrunde gelegten Klassengrenzen der realen Verhältnisse bewirken, daß alle VB in die Klasse großer Median-Entfernung und Interquartil-Range fallen, was bei der auf dieser Stufe festgestellten ausgeprägten Approximation im Mittel bei gleichzeitiger Überschätzung der Entropie der Einzelverteilungen zu erwarten ist.

Auf Stufe 5 (Abb. 124.5,.6) wird eine andere Sicht des Modells bloßgelegt: die Straffung des (quadratischen) Zusammenhangs zwischen Median-Entfernung und Interquartil-Range, zwischen Schwerpunkt der räumlichen Versandpräferenzverteilung und Streuung also. Mit zunehmender Median-Entfernung (d.h. Abnahme der Tendenz zur Marktbeherrschung) nimmt die räumliche Streuung der Präferenzen zu, um beim Überschreiten des Falls der Gleichverteilung in Richtung negativem Exponenten der Entfernungsfunktion wieder abzunehmen. Sehr gut läßt sich diese Modellsicht bei Punktmuster 'Hexagonal' (Abb. 124.5) nachweisen, aber auch bei 'Süd-VB' ist sie erkennbar.

Begleitend hierzu ist in der Klasseneinteilung die Existenz der Interaktionsblöcke eingefangen, deutlicher bei 'Süd-VB' als bei 'Hexagonal'. Niedrige ordinale Median-Entfernungen begleitend mit niedriger Interquartil-Range haben die meisten baden-württembergischen Quellen, hohe ordinale Median-Entfernungen und hohe Interquartil-Abstände werden vor allem bayerischen Quellen zugeordnet.

Diese Überzeichnung und Starre wird bei der nochmaligen Modell-erweiterung weitgehend vermieden. Zwar ist auch hier der eben geschilderte Zusammenhang zwischen Median-Entfernung und Inter-

quartil-Range deutlich, jedoch werden infolge der schon erwähnten Möglichkeit der Nachbildung der Selektivität Klasseneinteilungen erreicht, die von allen Ansätzen die größte Übereinstimmung mit dem Original aufweisen: fast die Hälfte aller Quellen wird in vergleichbare Gruppen eingeordnet (vgl. Tab. 47). Legt man gemäß Weg (ii) die für Abb. 124.2 gültigen Klassengrenzen zugrunde, so erhöht sich die Übereinstimmung, was auch als Folge der Annäherung der Entropie-Schätzung an die Realität gesehen werden kann.

Damit zeigt sich die weite Spanne der regionalen Differenzierung des Modellabbildes:

- geringe Differenzierung auf Stufe 3, überwiegender Einfluß der räumlichen Konkurrenz auf die Ausbildung der Verteilungsmuster, starke Überschätzung der lokalen Entropie,
- starre Nachbildung von Grundstrukturen der Originalmatrix auf Stufe 5 unter Aufrichtung eines engen Zusammenhanges zwischen Median-Entfernung und Interquartil-Range,
- größere räumliche Variation der einzelnen Verteilungstypen in Annäherung an die Realität aufgrund einer vergrößerten Flexibilität bei Nachbildung von Selektivitäten und einer verbesserten Entropieschätzung in der nochmaligen Modellerweiterung.

5.4.4 Approximation der Repräsentanten ausgewählter Verteilungstypen

Die in 5.2.3 ausgewählten und beschriebenen Repräsentanten von Verteilungstypen werden für Süd-VB in ihrer Approximation der drei Ansätze betrachtet. Dabei soll auf die ersten vier der dort aufgestellten Punkte, nämlich

Auftreten von räumlicher Selektivität

Auftreten von Interaktionsblöcken

Mehrteilung (Zersplitterung) überragender Präferenzgebiete

Schwacher Zusammenhang zwischen relativer Lage und Verteilungsmuster

näher eingegangen werden.

Die vorgegebenen Verkehrsverteilungen der ausgewählten Quellen werden in den einzelnen Modellstufen durchweg unterschiedlich angenähert. In Tab. 48 sind die absoluten Bestimmtheitsmaße zusammengestellt.

Tabelle 48

Bestimmtheitsmaße der Modellapproximation ausgewählter Verkehrsverteilungen unter Punktmuster 'Süd-VB'

Approximations- stufe	8	V 11	B - 16	N r. 1	24
Stufe 1	0,270	0,047	-0,091	0,372	0,642
Stufe 3	0,354	0,178	0,198	0,752	0,714
Stufe 5	0,520	0,248	0,019	0,692	0,757
Erweiterung	0,886	0,293	0,626	0,526	0,749
Bester Ansatz	Erw.	Erw.	Erw.	St. 3	St. 5
Bester Wert	0,886	0,293	0,626	0,752	0,757

Bei Betrachtung der Werte für Stufe 1 fallen die niedrigen Ausgangsbasen auf, die sich mit zunehmender Tendenz zur Gleichverteilung verbessern. Da diese Stufe ohne Raumbezug auskommt und den Zustand maximaler Entropie bei vorgegebenen Aufkommensmengen darstellt, ist dieses Ergebnis in Einklang mit den theoretischen Ansätzen.

Mit Einbezug des Raumes und Verwendung eines einzigen Exponenten der Entfernungsfunktion im Gesamtsystem wird für die Güte der Approximation bestimmend, wie räumlich geschlossen und in ihrer Intensität kontinuierlich variierend die Hauptpräferenzgebiete sind. So erkennt man auf Stufe 3, daß die Quellen 11 und 16 am schlechtesten angenähert sind, da sie bei Tendenz zur Marktherrschaft über zergliederte bzw. mehrgeteilte Hauptpräferenzgebiete verfügen. Quelle 8 wird deutlich besser vom Modell angenähert, jedoch liegt der für das Gesamtsystem gefundene Exponent unter demjenigen, der für die Aufwandseinschätzung der an dieser

Quelle ansässigen Versender charakteristisch wäre (Stufe 5). Gut werden die Quellen 1 und 24 nachgebildet, da hier trotz Zersplitterung der Präferenzgebiete die Grundtendenz der Gleichverteilung mit jener des Modells übereinstimmt und die mittlere Abweichung von den Originalwerten niedrig bleibt.

Auf Stufe 5 steht die Nachbildung der regionalen Aufwandsperzeption im Vordergrund. Jetzt besteht die Möglichkeit, Einzeltendenzen zur Marktbeherrschung besser einzufangen (Quelle 8). Andererseits muß das Modell Entscheidungen treffen bzw. Kompromisse schließen, wenn es um die Nachbildung zersplitterter Präferenzgebiete geht, so daß in Verbindung mit den Verhältnissen im Gesamtsystem Verbesserungen (VB 11,24) und Verschlechterungen (VB 1,16) auftreten können. Bei Einbezug regionalisierter Empfangs-Exponenten tritt eine allgemeine Anhebung der Güte der Näherung auf, wobei das Einfangen von Selektivitäten (Quellen 8,16) zu erheblichen Verbesserungen, z.T. auch Verschlechterungen (VB 1) führen kann.

Geht man zur Einzelbetrachtung der räumlichen Widerstandsfunktion, d.h. Versandpräferenzverteilung der ausgewählten Quellen über, dann sind in Abb. 125.1 für Quelle 8 auf Stufe 3 deutlich die Approximation im Mittel und der Einfluß der relativen Lage auf die Verteilung erkennbar: die höchsten Präferenzen liegen bei 1,45, die niedrigsten bei 0,68 (vgl. Tab. 54 des TA); das flache Abfallen der Werte vom Zentrum zum Rand ist charakteristisch. Die Entropie liegt weit über jener der Originalverteilung, ebenfalls der relative Streuungsparameter der S.A.E., die ordinale Median-Entfernung und Interquartil-Range.

Bei Betrachtung der Stufe 5 fällt die Hinwendung zum Typ der Marktbeherrschung auf: infolge des sehr hohen Exponenten kommt es zu einer Einschränkung des Hauptpräferenzgebietes unter gleichzeitiger Erhöhung des maximalen Wertes und eines z.T. scharfen Abfalls der Präferenzwerte - vor allem im Osten. Diese Veränderungen schlagen sich deutlich in den Relativparametern der S.A.E. nieder, ebenso in der Abnahme der ordinalen Median-Entfernung und der Interquartil-Range sowie der Entropie. Bei der nachfolgenden Modellerweiterung wird die Reduktion des Hauptpräferenzgebietes fortgesetzt, der Abfall von hohen zu niedrigen Werten auf engem

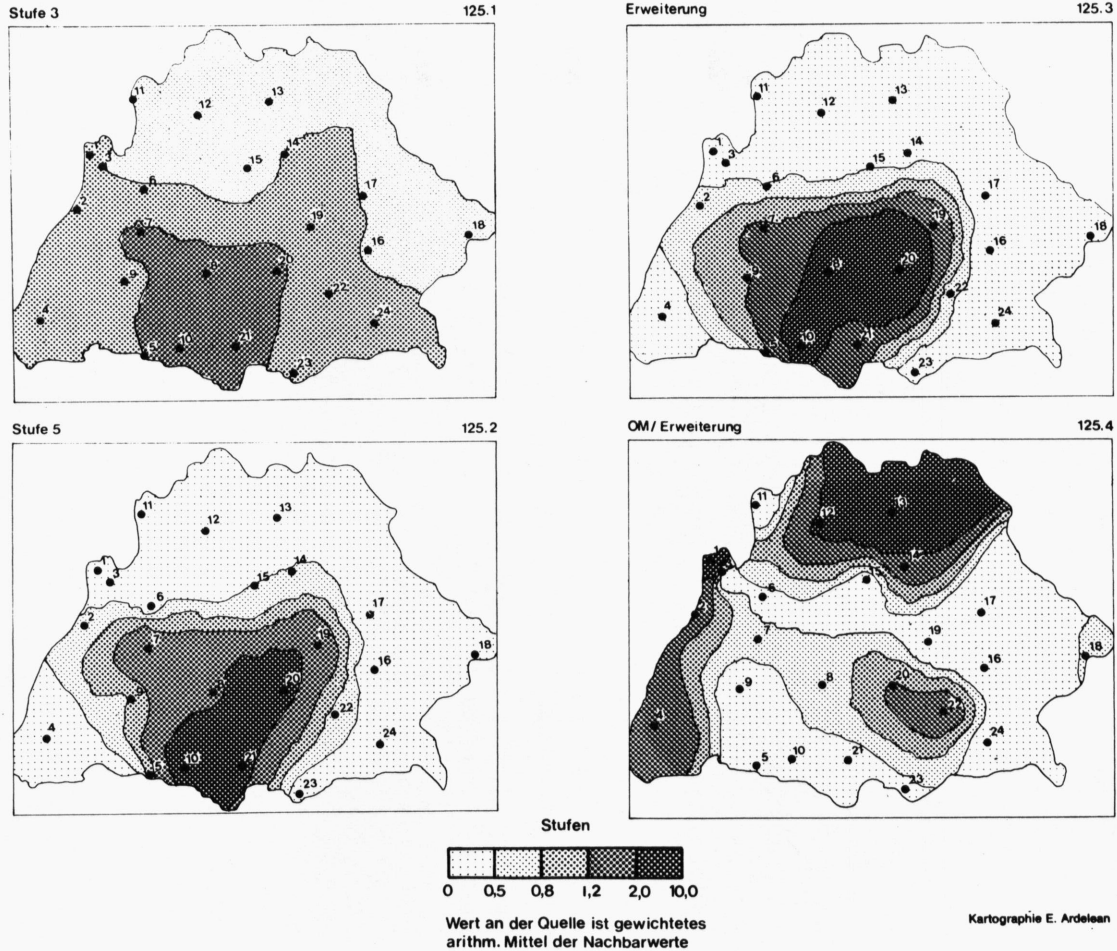
Raum vollzogen. Dabei kommt es zu einer gewissen Richtungsorientierung (ϵ_r), die vor allem durch die Approximation der wichtigsten Relation ($8 \rightarrow 20$) hervorgerufen wird. Die räumliche Streuung bleibt unter der realen Verteilung, wenn auch die ordinale Median-Entfernung sowie die Entropie darüber bleiben. Insgesamt hat man auf dieser Approximationsebene starke Unterschätzungen in Nordbayern und Senke 1, starke Überschätzungen in Süd-Baden-Württemberg und Ostbayern (vgl. Abb. 125.4).

Die räumliche Selektivität der Originalverteilung, soweit sie Senke 1 und Mittelfranken betrifft, wird im Mittel nur auf Stufe 1 approximiert, allerdings nicht als Selektivität. Die Existenz von Interaktionsblöcken findet zunehmend ihre Berücksichtigung, wobei die überschreitende Interaktion nach Senke 20 richtig gesehen wird. Bei der Ausbildung des hohen Präferenzgebietes muß der Einfluß der Raumvariablen 'Relative Lage' positiv hervorgehoben werden.

Zergliedert sich das Gebiet überragender Präferenzen, steht die Modellapproximation vor Schwierigkeiten, die z.T. nicht überwunden werden können. Betrachtet man die Abb. 126 für Quelle 11, dann sind auf Stufe 3 die randliche Lage der Quelle sowie die räumliche Variation der Versandkonkurrenz ausschlaggebend für das weite Ausgreifen mittlerer Präferenzen entlang der Ränder des Untersuchungsgebietes. Dabei deckt das Gebiet hoher Präferenzen jenes höchster Präferenzen der Originalverteilung und das Auftreten hoher Ausgleichsfaktoren am Rande führt - zufällig - zur guten Approximation der Relation ($11 \rightarrow 23$).

Auf Stufe 5 erkennt das Modell die Tendenz der Quelle zur Marktbeherrschung und schränkt das Gebiet hoher und höchster Präferenzen ein. Dabei wird die Senke 8 ausgelassen; der Abfall ist nicht so groß wie bei Quelle 8 (vgl. Abb. 126.2). Bei immer noch hoher Entropie nähern sich die Relativparameter der S.A.E. mit Ausnahme der Richtungsorientierung sowie die Median-Entfernung und die Interquartil-Range den Werten für die Originalverteilung an (vgl. Tab. 54 des TA).

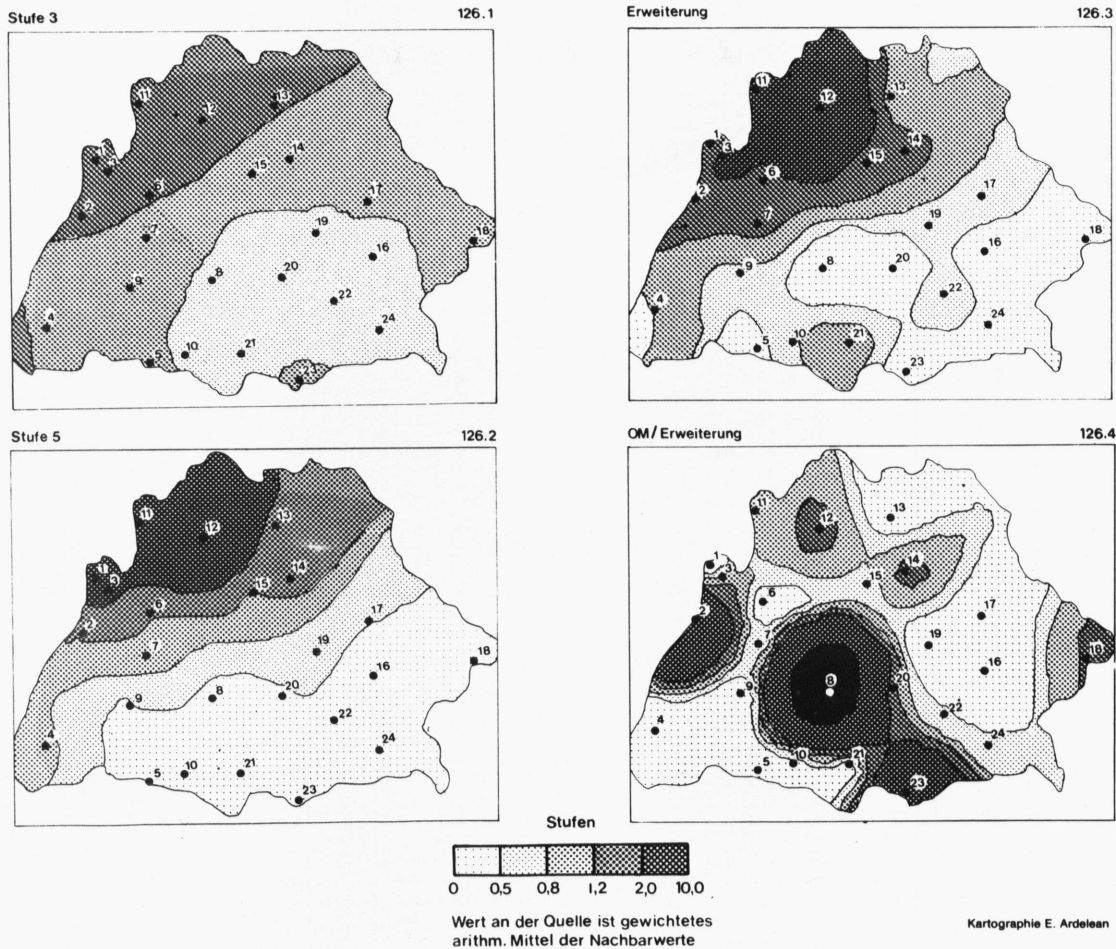
Abb. 125 Modellapproximation alle Stufen; 'Süd-VB': Präferenzverteilung (räumliche Widerstandsfunktion) der **Quelle 8** auf den verschiedenen Approximationsstufen und Bezug der Originalpräferenzen auf jene unter Erweiterung



Bei der nochmaligen Modellerweiterung (Abb. 126.3) wird das Gebiet höchster Präferenzen etwa im Umfang der Stufe 5 belassen. Zusätzlich treten starke räumliche Schwankungen der Präferenzhöhen auf, die die Approximation des nördlichen Bayern und des Nordens von Baden-Württemberg gestatten, nicht jedoch die Relation (11 \rightarrow 8). Die Entropie vermindert sich gegenüber Stufe 5 nur geringfügig, ja der Wert F_r steigt sogar, ebenso die Median-Entfernung und Interquartil-Range. So kommt es räumlich gestreut zu starken Unterschätzungen (Senken 2,8,23), zu Überschätzungen im Süden Baden-Württembergs und Osten Bayerns (vgl. Abb. 126.4). Insgesamt gesehen treten räumliche Selektivitäten in den Modellabbildungen auf, sind jedoch zu schwach ausgeprägt, z.T. fehl am Platz. Die Existenz der Interaktionsblöcke wird wegen der Randlage der Quelle nicht berücksichtigt, was mit der Realität übereinstimmt. Eine Mehrheit der überragenden Präferenzgebiete wird nicht erreicht, was die Güte der Approximation stark beeinträchtigt. Man beachte: dies hängt vor allem an dem Empfangs-Exponent der Senke 8, welcher recht hoch ist, was bedeutet, daß die für den Empfang dieser Senke wichtigen Verkehre aus kürzerer Entfernung kommen. Damit sei angedeutet, daß für die Güte der Näherung auch das jeweilige Versandaufkommen eine Rolle spielt, wobei Quelle 11 das zweitniedrigste des Gesamtsystems aufweist.

Quelle 16 repräsentiert den Fall eines zersplitterten Hauptpräferenzgebietes unter Wahrung der Block-Grenzen. Die wertmäßige Verteilung der Präferenzen läßt keinen r -Typ erkennen, die Approximation bei den verschiedenen Modellansätzen ist im Gegensatz zu den bereits behandelten Fällen schwankend. Betrachtet man das Modellbild der Widerstandsfunktion auf Stufe 3, dann erkennt man wieder den flachen Abfall der relativ niedrigen Präferenzen (max: 1,9; min: 0,49) vom Zentrum zum Gegenrand und die asymmetrische Ausbreitung des Hauptpräferenzgebietes zum benachbarten Rand hin entsprechend der Begünstigung der Randziele infolge des räumlichen Versandkonkurrenzausgleichs. Diese Asymmetrie wird auch im Original bestätigt, jedoch sind die weiteren Präferenzgebiete in Mittel- und Nordbayern unterschätzt. Bemerkenswert ist das Auseinanderklaffen der räumlichen Streuungsmaße bei gleichzeitiger Übereinstimmung der ordinalen Median-Entfernung von Original und Modell.

Abb. 126 Modellapproximation alle Stufen; 'Süd-VB': Präferenzverteilung (räumliche Widerstandsfunktion) der **Quelle 11** auf den verschiedenen Approximationsstufen und Bezug der Originalpräferenzen auf jene unter Erweiterung



Auf Stufe 5 entscheidet sich das Modell für Gleichverteilung. Da somit die Entfernung als Einflußfaktor auf die Verteilung der Versandpräferenzen nahezu ausfällt ($\alpha_{16} = -0,030$), wird diese allein durch die Ausgleichsfaktoren der Versandkonkurrenz an den Senken bestimmt. Dabei wird eine Verstärkung der Kontakte mit Randzielen erreicht, die teilweise zur richtigen Approximation (im Mittel) der nord- und ostbayerischen Präferenzgebiete führt. Dennoch sinkt das Bestimmtheitsmaß, die Entropie und fast alle statistischen Parameter der räumlichen Verteilung entfernen sich von den Zielwerten.

Bei der nochmaligen Modellerweiterung wird diese Verteilungstypenwahl bestätigt, nur geringfügig korrigiert (Versand-Exponent $\alpha_{16} = 0,229$). Jedoch ermöglichen nun die Empfangs-Aufwandseinschätzungen der benachbarten Senken eine sehr genaue Approximation des zwischen Quelle und benachbartem Rand gelegenen Präferenzgebietes, nicht jedoch desjenigen in Nord- und Westbayern. Demnach weist die entsprechende Abbildung Unterschätzungen in Nordbayern und im Osten von Baden-Württemberg, Überschätzungen im Westen Baden-Württembergs auf. Das Bestimmtheitsmaß nimmt stark zu, vor allem die Streuungsparameter nähern sich den Originalwerten.

Damit ergibt sich, daß räumliche Selektivität und Mehrteilung der Präferenzgebiete schwach ausgeprägt nur auf Stufe 5 auftreten. Bei Respektierung der Existenz der Interaktionsblöcke auf Stufe 5 und der nochmaligen Erweiterung sind auf allen Ebenen dem Konkurrenzmodell positive Einflüsse zu bescheinigen.

Noch stärker zur Gleichverteilung neigen die Quellen 1 und 24. Bei Quelle 1 fällt auf Stufe 3 wieder der durch die Randlage geprägte Abfall der Präferenzen von der Quelle zum Gegenrand auf, wobei allerdings breite Übergangszonen bestehen. Das Ausgreifen der hohen Präferenzen entlang des benachbarten Randes geschieht größtenteils in Übereinstimmung mit dem Original. Auf dieser Stufe wird das beste Bestimmtheitsmaß erreicht, wiewohl einige statistische Verteilungsparameter und die Entropieschätzung noch verbessert werden.

Abb. 127 Modellapproximation alle Stufen; 'Süd-VB': Präferenzverteilung (räumliche Widerstandsfunktion) der **Quelle 16** auf den verschiedenen Approximationsstufen und Bezug der Originalpräferenzen auf jene unter Erweiterung

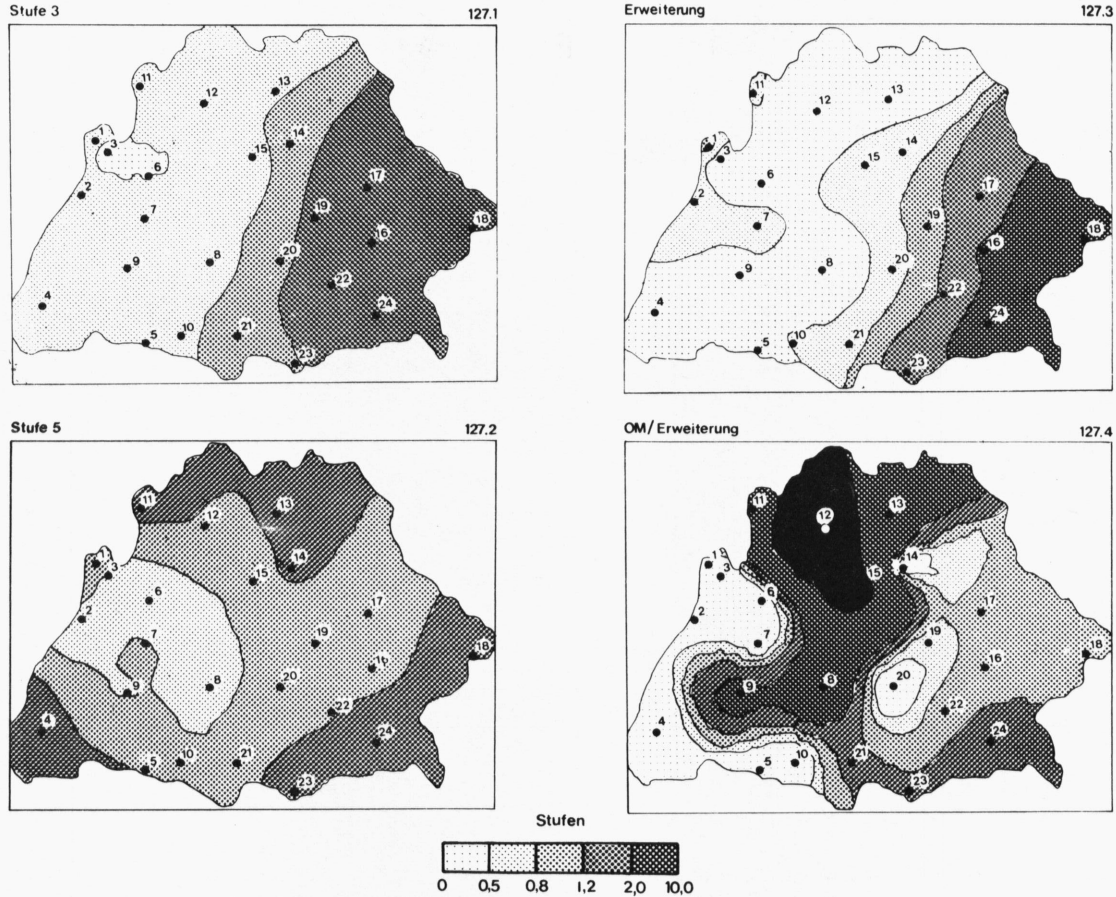
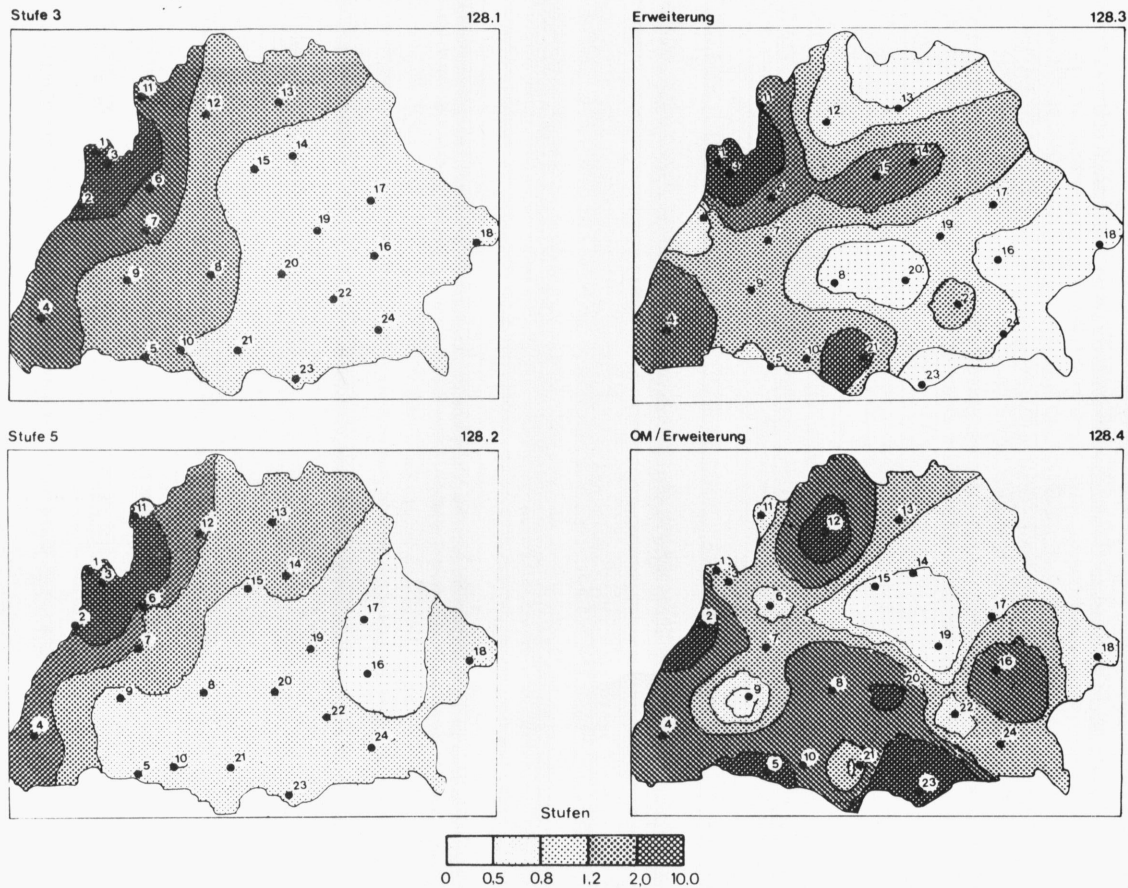
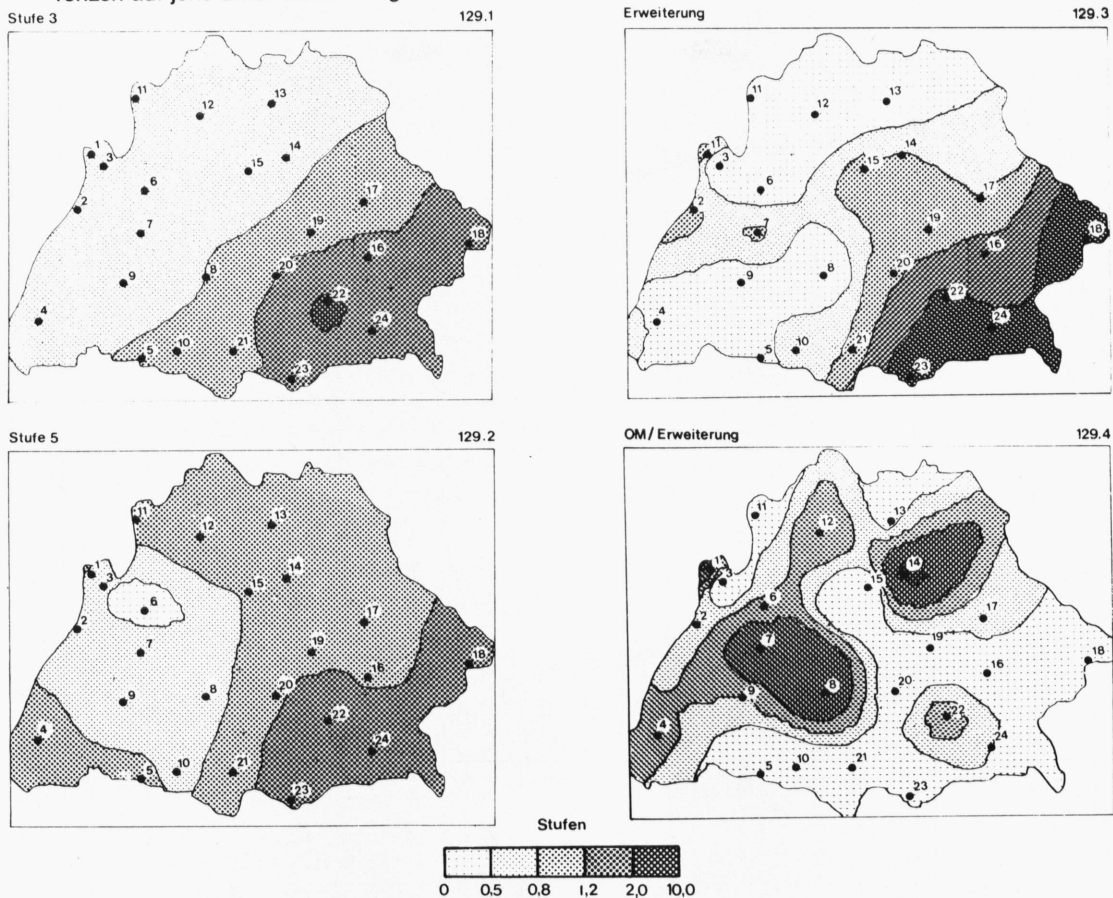


Abb. 128 Modellapproximation alle Stufen; 'Süd-VB': Präferenzverteilung (räumliche Widerstandsfunktion) der **Quelle 1** auf der verschiedenen Approximationsstufen und Bezug der Originalpräferenzen auf jene unter Erweiterung



Wert an der Quelle ist gewichtetes
arithm. Mittel der Nachbarwerte

Abb. 129 Modellapproximation alle Stufen; 'Süd-VB': Präferenzverteilung (räumliche Widerstandsfunktion) der **Quelle 24** auf den verschiedenen Approximationsstufen und Bezug der Originalpräferenzen auf jene unter Erweiterung



Wert an der Quelle ist gewichtetes
arithm. Mittel der Nachbarwerte

Kartographie E. Ardelean

Auf Stufe 5 nimmt der Exponent zu ($\alpha_1 = 1,049$), jedoch gleicht die erhaltene Verteilung weitgehend jener auf Stufe 3, wenn auch die Extremwerte in Richtung Original verändert werden. In der nachfolgenden Modellerweiterung wird dann jener Teilexponent erreicht, der schon auf Stufe 5 erwartet wird ($\alpha_1 = 0,065$). Es erweisen sich die Ausgleichsfaktoren und Empfangsexponenten so gut verteilt, daß viel von der Selektivität des Originalmusters eingefangen wird, jedoch nicht so ausgeprägt. Und so sind die Unterschätzungen lokal gestreut (Senken 2,10,12,20,23), die Überschätzungen liegen in Mittel- und Oberfranken.

Trotz dieser tendenziell guten Annäherung sinkt aufgrund der stark hervortretenden Approximation im Mittel das Bestimmtheitsmaß. Es genügt eben nicht, die statistischen Verteilungsparameter hinreichend anzunähern, wenn nicht auch eine Realitätsnähe in Einzelrelationen erreicht werden kann. Auch hier ist die räumliche Konkurrenz maßgeblich an der Erklärung beteiligt, was unbedingt hervorgehoben werden muß, um ihren schwankenden Anteil an der Approximationsgüte aufzuzeigen.

Bei der Beurteilung der Verteilung von Quelle 24 neigt das Modell auf Stufe 5 zu einem Kompromiß, zieht man zur Belegung dieser Aussage den Teilexponent Versand ($\alpha_{24} = 0,426$) heran. Er liegt zwischen dem gemeinsamen Exponenten auf Stufe 3 und jenem für gleichen Aufwand im Gesamtsystem ($\alpha = 0$). Die Ausgleichsfaktoren führen zu einer Approximation im Mittel unter weitgehender Beachtung der Interaktionsblock-Grenzen. Trotz nur geringfügig geänderten Teilexponenten für den Versand ($\alpha_{24} = 0,395$) wird auf der Ebene der Modellerweiterung die Ausdehnung des vorhandenen Präferenzgebietes vorgenommen und es kommt zum Auftreten selektiv höherer Präferenzen in Baden-Württemberg. Dies zeigt, daß auf dieser Approximationsstufe Teilexponenten für den Versand wenig aussagekräftig sind, da auch die Senken über eigene Aufwandseinschätzungen verfügen. Weiter ist anzuführen, daß hier wieder die Selektivität zu wenig pointiert nachgebildet wird, um das Bestimmtheitsmaß entscheidend zu erhöhen. Vergleicht man demnach die beiden Stufen, dann mag zwar Stufe 5 eine bessere Approximation im Mittel darstellen. Wesentliche Züge der Verteilung übernimmt jedoch der zuletzt durchgeführte Ansatz.

5.4.5 Approximation ausgewählter Teilsysteme

Abschließend soll noch kurz auf die Nachbildung des Verkehrs innerhalb der aus theoretischen Gesichtspunkten heraus ausgewählten Teilsysteme eingegangen werden.

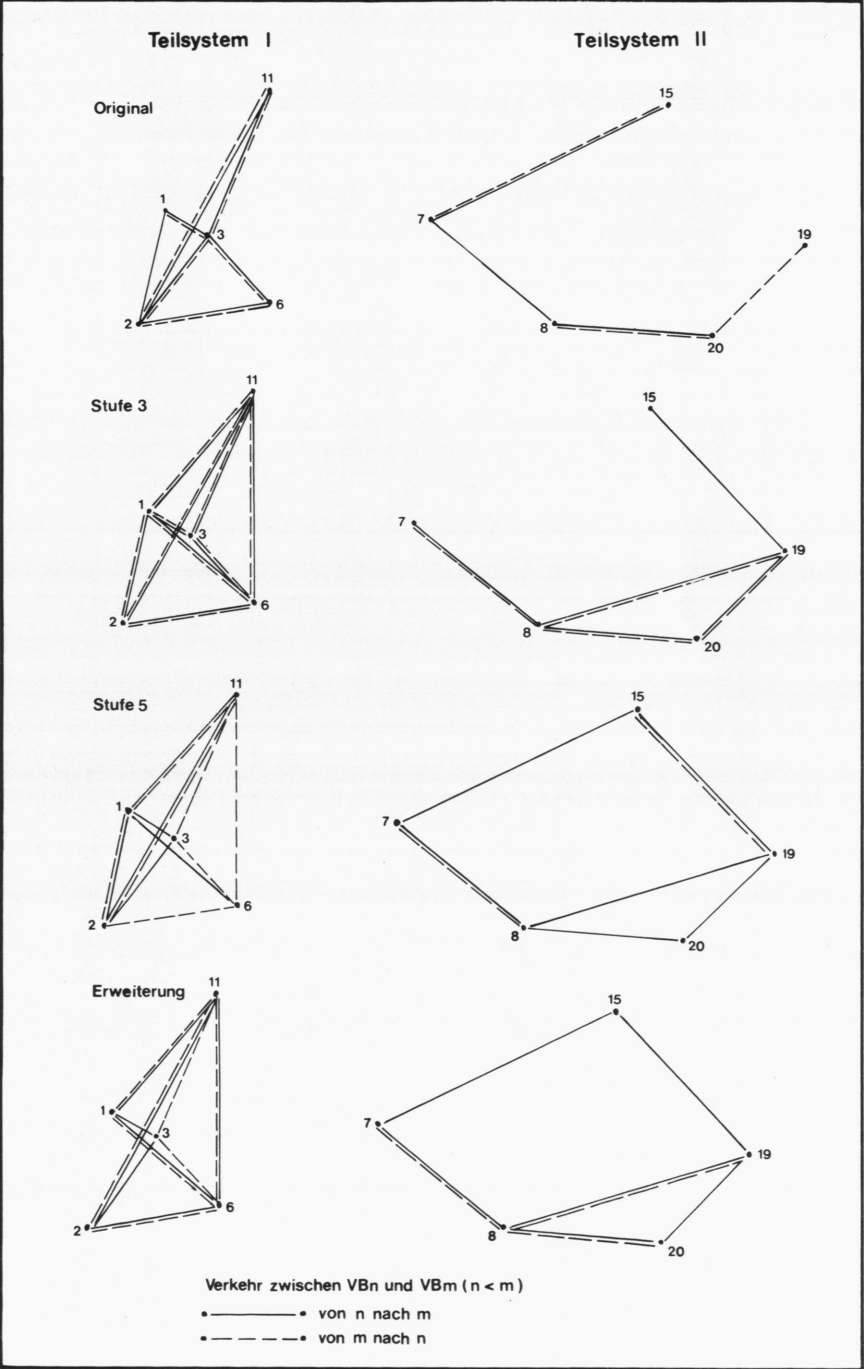
Stellt man für Punktmuster Süd-VB jene Relationen dar, die im Original bzw. den einzelnen Modellstufen Präferenzen über 1,0 aufweisen, erhält man Abb. 130. Die vollständigen Präferenzmatrizen sind in Tab. 55 des TA aufgeführt.

Betrachtet man die realen Verhältnisse in Teilsystem I (Abb. 130.1), fällt die Paarigkeit der von Quelle 3 ausgehenden Präferenzrelationen auf, die durch randliche und diagonale Verbindungen ergänzt werden. Auf Stufe 3 ist dieses Muster mit Hilfe eines vollkommenen Maschennetzes eingefangen worden (Abb. 130.2), wobei jedoch die Präferenzwerte der Einzelrelationen zu beachten sind. Auf Stufe 5 und der nachfolgenden Modellerweiterung wirkt sich aus, daß Quelle 3 entsprechend ihrer Verkehrsverteilung im Gesamtsystem und den Aufwandseinschätzungen ihrer Nachbarn mit zunehmender Entfernung einen geringeren Aufwand annimmt. Damit werden im Gegensatz zur Realität alle von Quelle 3 ausgehenden Präferenzen innerhalb des Teilsystems weit unterschätzt. Die Vermaschung löst sich im Zentrum auf, was nur teilweise mit realen Verhältnissen übereinstimmt (vgl. Abb. 130.3, .4).

Bei Teilsystem II fehlen Diagonalverbindungen völlig, was mit der Länderzugehörigkeit der VB in Zusammenhang steht. Das Konkurrenzmodell bildet diesen Sachverhalt weitgehend nach: auf keiner Stufe kommt es zur Ausbildung eines Maschennetzes, wenn auch den real 6 Verbindungen 8 bis 9 angenommene gegenüberstehen. In keinem Fall wird jedoch eine völlige Übereinstimmung erzielt: etwa die Hälfte der Modell-Relationen finden auch in der Realität ihre Entsprechung.

Damit ergibt sich, daß die Punktdichtevariationen das Modell veranlassen, kleinräumige Strukturen nachzubilden, die annähernd mit der Realität übereinstimmen. Durch zusätzliche Information (Stufe 5, nochmalige Erweiterung) kann eine Entfernung von der Realität dann eintreten, wenn die Verkehrsverteilung einer Quelle im Gesamttraum jener im Teilraum extrem entgegengesetzt ist.

Abb. 130 Modellapproximation alle Stufen: 'Süd-VB' : Vergleich der Präferenzrelationen über 1,0 innerhalb der Teilsysteme I, II für Original und Modell



Kartographie E. Ardelean

5.5 ERGEBNIS DER MODELLANWENDUNG AUS GEOGRAPHISCHER SICHT

In den vorausgegangenen Abschnitten standen die Eigenschaften der Modellanwendung im Vordergrund der Betrachtung. Hier soll abschließend der Frage nachgegangen werden, was das Modell im konkreten Fall für die Erklärung der Verkehrsverteilung aus geographischer Sicht leistet.

Geht man davon aus, daß alle Relationen gut, d.h. mit einer Abweichung von $\pm 10\%$ zu approximieren sind, dann hat das Modell eindeutig versagt. Es ist in der Lage, nur etwa 10% aller Relationen gut anzunähern, wobei die von einer Quelle ausgehenden gut approximierten Verkehre im Durchschnitt 20% des Gesamtversands dieser Quelle ausmachen.

Auch auf der nächstkleineren Maßstabsstufe, den Teilsystemen, ist die Approximation keineswegs zufriedenstellend. Es erweist sich der starke Einfluß der Raumvariablen 'Relative Lage' in den ausgewählten Einzelrelationen der beteiligten Verkehrsschwerpunkte sowie im Gesamtsystem nicht immer als zutreffend.

Konnte man die gute Nachbildung der Verhältnisse in Teilsystemen und von Einzelrelationen erwarten? Sicherlich nicht, denn die aufgestellte Modellhypothese bezieht sich auf das Gesamtsystem. Auch die benötigte Information zur Bestimmung der gemäß Modellhypothese wahrscheinlichsten Verkehrsverteilung gibt eine Eigenschaft des Gesamtsystems wieder (Stufe 3) oder beinhaltet eine Eigenschaft der Gesamt-Verkehrsverteilung der Einzelquelle (Stufe 5) bzw. Einzelquelle und -senke (nochmalige Modellerweiterung).

Damit schält sich eine andere Betrachtungsrichtung heraus. Wenn die Approximation jeder Relation gefordert wird, dann ist implizit unterstellt, daß der reale Verkehr auf dieser Maßstabsebene vollkommen gesetzmäßig abgewickelt wird. Denn Sonderfälle lassen sich ja nur durch Detailinformation erklären. Zudem ist die Wissenschaft an der übergeordneten Struktur interessiert. Diese übergeordnete Struktur wird aber gemäß Modellhypothese in einem Zustand des Gesamtsystems gesehen, der aus Zuständen der Verteilungen der Einzelquellen (und -senken) aufgebaut wird. Dabei wird in der

übergeordneten Modellhypothese nichts über die regionale Verteilung der von einer Quelle ausgehenden Verkehre gesagt. Erst durch explizite Einbindung der Raumvariablen 'Distanz' und 'Relative Lage' in das Modell konnten in den Kapiteln 2 und 4 die aus der Modellhypothese abgeleiteten Folgerungen in Aussagen über die räumliche Verteilung umgesetzt werden. Also stellen sich die Fragen:

Wie gut approximieren die Modellverteilungen das reale Gesamtsystem, wobei die Struktur der Modellmatrix in allen ihren räumlichen Einzelheiten erklärbar ist?

Weicht die Modellverteilung wesentlich von Stufe 1 ab, jener Stufe, in der wahrscheinlichkeits-theoretische Unabhängigkeit zwischen Quellen- und Senkenaufkommen angenommen wurde, womit der Einfluß des Raumes auf die Verteilung vollkommen ausgeschlossen ist?

Die Beantwortung dieser beiden Fragen wurde in den vorangegangenen Abschnitten vorgenommen. Es darf daran erinnert werden, daß die Präferenzen - per definitionem Abweichungen der jeweiligen Näherung von Stufe 1 - unter räumlichen Gesichtspunkten variieren und nach Einbezug dieser Variation wesentlich bessere Erklärungswerte als auf Stufe 1 erzielt werden. Die wenigen Fälle, in denen das Bestimmtheitsmaß unter jenem der Stufe 1 liegt, wurden erwähnt.

Insofern hat die Modellanwendung gezeigt, daß die raumstrukturierende Hypothese für die betrachtete reale Verkehrsverteilung einen Erklärungswert auf der Makroebene besitzt. Dabei ist keineswegs nur eine Approximation im Mittel gemeint. Höhere Bestimmtheitsmaße konnten nur erzielt werden, wenn zur Verbesserung im Mittel auch gute regionale Annäherungen der realen Verteilungen traten. Dabei muß auf die Rolle der Raumvariablen hingewiesen werden. Sie reduzieren die auf Stufe 1 bestehende maximale Ungewißheit über die Verkehrsverteilung, indem sie

- Abwandlungen der Intensität der Interaktion über die Entfernung,
- Abwandlungen der Intensität der Interaktion in Abhängigkeit der relativen Lage der in Kontakt tretenden Quellen und Senken

unter Beachtung der Hypothese für den Gesamtraum gestatten.

Vordergründig scheint sich hierin ein gewisser Konflikt zu dokumentieren: Maximierung der Entropie im Gesamtraum bei gleichzeitiger regionaler Differenzierung der Einzelverteilungen. Aber diese scheinbare Zwiespältigkeit trifft die Verhältnisse in der Realität. Es versendet bspw. Quelle 24 unbeschadet der zu überwindenden Entfernung über das ganze Untersuchungsgebiet und orientiert sich doch letztendlich an gewissen Bevölkerungsschwerpunkten bzw. Senken in der Nachbarschaft, steuert damit nicht alle Ziele an. Zum anderen bestehen zwischen beiden Ländern merkliche Hemmnisse für eine ländergrenzüberschreitende Interaktion und doch ist keine Transportkostenoptimierung zu erkennen. Vielmehr gehen die Verkehrsbeziehungen innerhalb der Blöcke in jede Richtung und alle Distanzen.

Führt man die Überlegungen zu diesem Quasi-Dualismus des unterschiedlichen Verhaltens von Gesamtsystem und Teilen weiter, so gelangt man zur Frage:

Wie streng muß ein Zusammenhang zwischen Raum und Verteilung sein, um als solcher anerkannt zu werden?

Es kann argumentiert werden, daß die Maximierung der Ungewißheit über die Verkehrsverteilung im Gesamtraum keine Methode sei, um einen strengen Zusammenhang im Sinne eines Determinismus (vgl. hierzu Schaefer [212; p. 62]) zu begründen. Aber dann muß auf die innere Struktur der hier behandelten Modell-Verteilung verwiesen werden, auf die vielen Beispiele unterschiedlicher Approximation ein und derselben Quelle auf verschiedenen Stufen der Modellentwicklung, wo das Bestimmtheitsmaß fiel, nur weil dem Modell in der Nachbildung übergeordneter Grundstrukturen (Stufe 5: Interaktionsblöcke) oder Selektivitäten (nochmalige Modellerweiterung) Fortschritte gelangen. Insofern ist der Raum eng mit der Verteilung verbunden, letztere wird explizit in Abhängigkeit vom Raum gesehen. Hat man also hier die Grenze dessen erreicht, was den Sozialwissenschaften unterstellt wird: das Aufstellen von Hypothesen minderer Wahrscheinlichkeit? Die Frage muß offen bleiben, da nicht bekannt ist, ob innerhalb einer geschlossenen Theorie eine bessere Näherung als die hier vorgelegte erreicht werden kann.

Nicht nur die bislang betrachtete Eigenschaft des Modells, eine Näherung einer vorgegebenen Verteilung zu liefern, sollte gesehen werden, sondern auch jene der Übertragbarkeit und Norm. So muß an Curry erinnert werden, der die Raumabhängigkeit der modellhaft beschriebenen Verkehrsverteilung deswegen ablehnt, weil die Ergebnisse immer wieder die vorgegebene Punktmusterstruktur beinhalten und somit nicht übertragbar seien. Zweifellos ist die Verkehrsverteilung vom Punktmuster abhängig. Jedoch gestatten die angeführten Verfahren auch bei einem postulierten Zusammenhang zwischen Punktmuster und Verteilung die Ausweisung von Verteilungstypen. Letztere sind unabhängig von der relativen Lage der jeweiligen Quelle und somit miteinander vergleichbar. Es steht also die Einzigartigkeit des Raumes einer vergleichenden Betrachtung nicht im Wege.

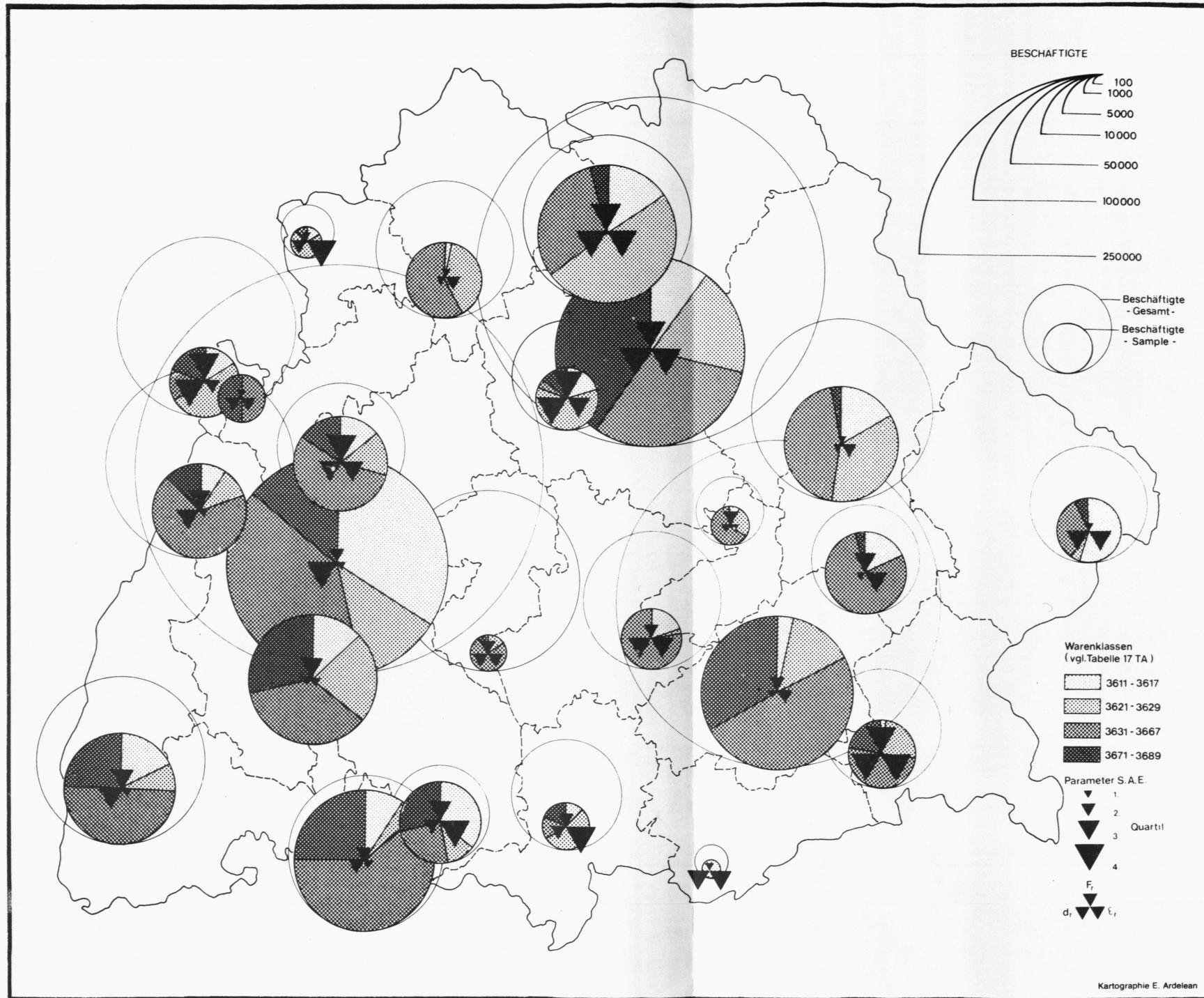
Über die Erfassung des inneren Aufbaus der Originalmatrix durch Analyse der Modellmatrix hinaus kann die dem Modell innewohnende Raumstruktur auch als Norm Verwendung finden. Dabei besteht die Möglichkeit, durch Vorgabe regionalisierter Information (Stufe 5, nochmalige Modellerweiterung), die Norm soweit in Realitätsnähe zu wählen, daß sie nicht als absolut gesetzt erscheint. Zudem besteht die Norm nicht nur aus einer Verkehrsverteilung, sondern auch aus Angaben über räumliche Konkurrenzverhältnisse, regionale Aufwandseinschätzungen und Widerstandsfunktionen. Sie ist also wohlunterschieden von einer undifferenzierten Vergleichsebene. Das Modell geht - wie schon erwähnt - über eine bloße Reproduktion oder Transformation der Eingabedaten hinaus.

Nach der Betrachtung der Wesenszüge der regionalen Approximation sowie der Möglichkeiten zur vergleichenden Betrachtung von Raumstrukturen ist als dritter Punkt die Weiterentwicklung anzusprechen. Es bestehen z.T. erhebliche räumlich differenzierte Abweichungen zwischen Modell und Realität. Demnach stellt sich die Aufgabe, die Modellhypothese zu überprüfen und gegebenenfalls zu erweitern oder umzuformulieren. Im vorliegenden Fall könnten unter Einbezug räumlich verteilter Variablen weitere Erklärungsmöglichkeiten gewonnen werden. Nähme man z.B. einen Zusammenhang zwischen Struktur und Funktion an, dann könnte die Auswertung der Inzidenzen von Produktionsstruktur und Verteilungstyp ein weiterer

Ansatz sein (vgl. Abb. 131).

Andererseits bedürfen die hier formulierten theoretischen Ansätze als Folgerungen aus der Modellhypothese bei Verwendung der Raumvariablen 'Distanz' und 'Relative Lage' weiterer Überprüfungen. So ergeben sich unter Anleitung der Theorie neue Forschungsansätze, etwa die Untersuchung von Entropie und relativer Lage in Verbindung mit dem Aufkommen.

Abb. 131 Struktur und Funktion: Gibt es einen Zusammenhang zwischen Produktionsstruktur der in einem Verkehrsbezirk ansässigen Elektroindustrie und der zugehörigen Verkehrsverteilung (Präferenzen), charakterisiert durch die Relativparameter F_r , ϵ_r , d_r der S.A.E. ?



KERNLITERATUR KAPITEL 5

- Chisholm, M.; O'Sullivan, P.: Freight flows and spatial aspects of the British economy. (Cambridge Geographical Studies 4). Cambridge 1973.
- Grigg, D.: The logic of regional systems. In: Annals of the Association of American Geographers 55 (1965), pp. 465-491.
- Wilson, A.G.: Advances and problems in distribution modelling. In: Transportation Research 4 (1970), pp. 1-18.
- Yuill, R.S.: The standard deviational ellipse. In: Geografiska Annaler 53 B (1971), pp. 28-39.

6. ZUSAMMENFASSUNG

6.1 WISSENSCHAFTSTHEORETISCHER ANSATZ

Wenn Wissenschaft als Wechselspiel von empirischer Arbeit und theoretischer Durchdringung angesehen wird, dann erscheint nach der Fülle von vorliegenden 'case-studies' zur regionalen Verkehrsverteilung der Versuch gerechtfertigt, die dort eingeflossenen theoretischen Ansätze in ein geschlossenes Gedankengebäude einzubringen. Dabei können sowohl Fragen der logischen Konsistenz von auf der Theorie basierenden Modellen geklärt als auch Anleitungen für weitere empirische Untersuchungen gewonnen werden.

In der vorliegenden Arbeit wird die Übertragung des von Wilson aus der Thermodynamik in die Verkehrsgeographie eingeführten Ansatzes der Entropie-Maximierung, aus dem das bislang verwendete Gravitationsmodell in logisch-konsistenter Erweiterung hergeleitet werden kann, hinsichtlich des Einbezugs von Nystuen'schen Raumvariablen untersucht. Es zeigt sich, daß zumindest die Raumvariable 'Relative Lage' bei der Übertragung nicht explizit berücksichtigt wird.

Die Diskussion der Wilson'schen Entropie-Maximierungshypothese und des daraus abgeleiteten Modells aus geographischer Sicht ergibt ferner, daß mit der in der Hypothese getroffenen Aussage über die Verkehrsverteilung im Gesamtraum implizit eine innere regionale Struktur der Verkehrsverteilung festgelegt ist. Sieht man das aus der Theorie hergeleitete Modell ebenfalls als ein in sich geschlossenes, durchdenkbares System an, dann besteht die Aufgabe, diese implizite Struktur als Folgerung aus der Modellhypothese darzustellen.

Durch den Einbezug der Raumvariablen 'Relative Lage' in das Modell ist diese Struktur explizit an den Untersuchungsraum gebunden. Bestehen dann noch Aussichten, allgemeine und übertragbare Aussagen herleiten zu können, oder sollte man - etwa im Sinne des 'friction'-Konzepts - auf diese ausdrückliche Raumanbindung verzichten, wie es Curry und Johnston vorschlagen?

Diese Frage ist im vorliegenden Fall dahingehend beantwortet, daß der explizite Einbezug des Raumes keinesfalls die Übertragbarkeit der gewonnenen Ergebnisse ausschließt. Die Bereitstellung geeigneter Bezugsbasen und die Idealisierung von Punktmustern mit anschließender Klassifikation der 'Relative Lage-Verhältnisse' erweisen sich hier als geeignet, um die Herauslösung und Analyse der inneren Struktur aus geographischer Sicht vornehmen zu können. Hierzu ist letztlich auch eine Trennung der geographischen Betrachtung von der mathematischen Diskussion von Einzelaspekten nötig, da die im mathematischen Fall geforderte abstrakte und strikt generalisierende Behandlung nicht immer mit der Zielsetzung der geographischen Untersuchung übereinstimmt.

6.2 ANGEWANDTE METHODEN

Die vorgegebenen Elemente des mit Hilfe von Modellrechnungen zu untersuchenden Modells umfassen die Aufkommensmengen, die Entfernung zwischen den einzelnen Quellen und Senken sowie den Gesamtaufwand für den Verkehr. Aus der Entfernungsmatrix sind als Struktur des Raumes die Variation der Punktdichte, daneben die 'Relative Lage'- und Nachbarschaftsverhältnisse der gewählten Aufkommensschwerpunkte herzuleiten. Gibt man generell den Rahmen für den Gesamtaufwand durch Festlegung des Exponenten der Entfernungsfunktion bei Durchführung der Modellrechnungen vor, dann bleibt als methodischer Weg die sukzessive Strukturierung des Raumes durch Konstanthalten bzw. Verändern der Elemente. Fünf Stufen werden ausgedacht:

- Stufe 1: Variable Aufkommensmengen, kein Einbezug des Raumes
- Stufe 2: Konstante Aufkommensmengen, Einbezug des Raumes durch Vorgabe der Entfernungsmatrix
- Stufe 3: Variable Aufkommensmengen, Einbezug des Raumes durch Vorgabe der Entfernungsmatrix

- Stufe 4: Konstante Aufkommensmengen, Einbezug des Raumes durch Vorgabe der Entfernungsmatrix, regionale Differenzierung des Exponenten der Entfernungsfunktion
- Stufe 5: Variable Aufkommensmengen, Einbezug des Raumes durch Vorgabe der Entfernungsmatrix, regionale Differenzierung des Exponenten der Entfernungsfunktion.

Für viele der untersuchten Fragestellungen genügt diese gestufte Grobstrukturierung nicht. So bietet die Klassifizierung von 'Relative-Lage-Verhältnisse' in drei Gruppen - Rand, Zwischenlage, Zentrum - zusätzliche Möglichkeiten der Präzisierung räumlicher Aussagen. Weiter erweist es sich als notwendig, die durch die jeweils betrachteten Aufkommensschwerpunkte gebildeten Punktmuster zu idealisieren. Während das Hexagonalmuster aufgrund der homogenen Punktdichte als das eine Extrem verwendet wird, kann das andere Extrem mit Punktverdichtung im Zentrum und Punktauflockerung am Rand mittels der angegebenen exponentiellen Transformation aus dem Hexagonalmuster hergeleitet werden. Letztlich ist es zu Beginn der Untersuchung von Vorteil, die reale durch die ordinale Entfernungsmatrix zu ersetzen.

Wenn auf Stufe 4 die Aufwandsperzeption räumlich variiert, dann ist es notwendig, über die Strukturierung des Raumes hinaus auch Verteilungsmuster zu standardisieren. Dabei leistet der Begriff der 'ordinalen' Median-Entfernung wertvolle Hilfe. Zur Beschreibung von Verteilungsmustern werden - vornehmlich im Anwendungsfall - die relativen Parameter der S.A.E. sowie Trendoberflächenanalysen mit wechselndem Koordinatenursprung herangezogen.

Die auf den Stufen 3, 4 und 5 vorzunehmende Festlegung der räumlichen Verteilung von Aufkommensmengen bzw. Aufwandsperzeptionen ist an dem idealisierten Bild eines Wirtschaftsraumes orientiert, dessen Industriedichte vom Zentrum zum Rand, die landwirtschaftliche Nutzungsintensität vom Rand zum Zentrum abfällt. Der daraus resultierende Rand-Zentrum-Gegensatz steht im Mittelpunkt der Untersuchung, zumal er eine Entsprechung in der Verteilung der räumlichen Konkurrenz auf Stufe 2 besitzt.

6.3 ERGEBNISSE DER MODELLUNTERSUCHUNG

Auf Stufe 1 wird jene Verkehrsverteilung betrachtet, die bei Wahrscheinlichkeitstheoretischer Unabhängigkeit der Quellen und Senken zu erwarten ist. Es zeigt sich, daß von allen mit gleichen Aufkommensmengen auf verschiedenen Stufen gebildeten Verkehrsverteilungen die auf Stufe 1 gebildete maximale Entropie besitzt. Damit kann sie als raumunabhängige Bezugsbasis verwendet werden: elementweise Division einer beliebigen VSM durch die zugehörige VSM auf Stufe 1 ergibt die Präferenzen, die für jede Verkehrsrelation das Vielfache des Verkehrs ausdrücken, was über bzw. unter dem Verkehrsfluß bei maximaler Entropie im Gesamtgebiet geflossen ist. Handelt es sich bei der vorgegebenen VSM um eine mit dem Modell erzeugte, dann entsprechen die Präferenzen (bis auf eine multiplikative Konstante) den Werten der räumlichen Widerstandsfunktion der zugehörigen Quelle an den jeweiligen Senken.

Beim einfachen Gravitationsmodell entsprechen die Präferenzen den Werten der Entfernungsfunktion. Die lokale Versandentropie der Verkehrsverteilung der Quellen nimmt demnach vom Zentrum zum Rand zu, falls $\alpha > 0$. Das heißt: der Einbezug des Raumes auf Stufe 2 verringert die Ungewißheit über die lokale Verkehrsverteilung gegenüber Stufe 1 recht unterschiedlich. Will man eine gleichmäßige Reduktion der Entropie erzwingen, müssen die Versand-Entfernungsverteilungen der Quellen gleich sein, was mit der Einführung ordinaler Entfernungen zu erzielen ist. Jedoch führt die fehlende Symmetrie dieser Entfernungsmatrix zur räumlich differenzierten Unter- bzw. Überschätzung der vorgegebenen Empfangsmengen der Senken.

Diese Nichteinhaltung der zweiten Nebenbedingung des Modells ist Hauptansatzpunkt für eine Argumentation gegen das 'friction-Konzept'. Der Einbezug des Raumes durch Verwendung von Entfernungen impliziert in einem endlichen Untersuchungsgebiet den Einbezug der relativen Lage allein dadurch, daß bei einer ordinalen Entfernungsmatrix zentrale Senken eine andere Empfangs-Entfernungsverteilung haben als etwa randlich gelegene Senken. Die sich hieraus ergebenden Über- bzw. Unterschätzungen der Empfangsmengen der Senken werden als Maß für die räumliche Konkurrenz definiert,

wobei gilt: die räumliche Konkurrenz nimmt vom Rand zum Zentrum zu. Das Ausmaß dieses Rand-Zentrum-Gegensatzes ist u.a. auch von der benutzten Entfernungsfunktion und dem zugrunde gelegten Punktmuster abhängig. So erhöht ein Übergang von 'Hexagonal' zu 'Verzerrung' die Unterschiede zwischen Rand und Zentrum.

Zur Überwindung des Einflusses der räumlichen Konkurrenz wird vorgeschlagen, die Versender- und Empfängerverhalten zu koppeln bzw. rückzukoppeln. Wählt man demzufolge die Ausgleichsfaktoren der räumlichen Konkurrenz dergestalt, daß diese lokal kompensiert wird, erhält man für die Verkehrsverteilung einen systemartigen Zusammenhang: der Übergang vom einfachen Gravitationsmodell zur Wilson'schen Erweiterung ist vollzogen.

Die aus der vorgetragenen räumlichen Argumentation gewonnenen Ausgleichsfaktoren bewirken im Modell im Vergleich zum einfachen Gravitationsmodell eine Verringerung der Entropie der Verkehrsverteilung randlicher Quellen, eine Erhöhung der Entropie der Verkehrsverteilung zentraler Quellen. Außerdem erhält man regional differenzierte Widerstandsfunktionen, die sich in ihren Werten mehr an der relativen Lage der Quelle und jener der von ihr angesteuerten Senke orientieren. So verstärken bspw. gegenüber dem einfachen Gravitationsmodell randliche Quellen die Verkehrsbeziehungen zu benachbart gelegenen Randsenken und versenden auch mehr zum Gegenrand; andererseits lockern zentral gelegene Quellen ihre Verkehrsbeziehungen mit benachbart gelegenen Senken, intensivieren sie in geringem Maße mit randlich gelegenen Senken.

Diese Aussagen erfahren bei Übergang zu Stufe 3 eine Erweiterung. Bei der Untersuchung des Einflusses der Verteilung der Aufkommensmengen auf den Modellverkehr leistet der Begriff der Kovarianz gute Dienste, da mit ihm die Beeinflussung der räumlichen Konkurrenz durch die Aufkommensvariation ausgedrückt werden kann. Man erhält:

Eine Variation der Empfangsmengen entgegen der auf Stufe 2 festgestellten, von der relativen Lage der Quellen abhängigen räumlichen Empfangskonkurrenz führt zur Abschwächung derselben; variieren die

Empfangsmengen mit der auf Stufe 2 festgestellten räumlichen Empfangskonkurrenz, so wird dieselbe im Untersuchungsraum verstärkt. Das Ausmaß der Abschwächung und Verstärkung ist vom benutzten Punktmuster abhängig.

Die räumliche Empfangskonkurrenz an den Quellen ist also - abgesehen von der relativen Lage - abhängig von der räumlichen Variation der Empfangsmengen. In Übertragung erweist sich die räumliche Versandkonkurrenz an den Senken primär abhängig von der Variation der Versandmengen und infolge Rückkopplung auch von der Variation der Empfangsmengen, die modifizierend wirkt. Es ergeben sich demnach bemerkenswerte Dualitäten: konnte auf Stufe 2 eine Verschärfung der (lagebedingten) räumlichen Konkurrenz durch geeignete Wahl eines Punktmusters erzielt werden, so ist man auf Stufe 3 in der Lage, dies mit einer geeigneten Variation der Aufkommensmengen zu erreichen. Zudem läßt sich feststellen, daß mit wachsendem Aufkommen einer Quelle die Entropie der zugehörigen modellhaft berechneten Verkehrsverteilung wächst, wobei die Stärke der Zunahme von der relativen Lage der Quelle abhängt. Damit sind auch die - die Aufkommensvariation begleitenden - Veränderungen der lokalen Versandentropie vom Punktmuster beeinflußt.

Dieses aufgrund der vorliegenden Modellhypothese implizierte Verhalten des Modells führt dazu, daß dominante Rand-Zentrum- und Zentrum-Rand-Verkehre recht gut approximiert werden, hingegen Rand-Rand- und Zentrum-Zentrum-Verkehre nur schwer nachzubilden sind.

Es gibt viele Beispiele empirischer Untersuchungen, die von regional differenzierten Aufwandsperzeptionen ausgehen. Dies gilt sowohl auf Makro- als auch auf Mikroebene, wie die Untersuchung des VB Landshut zeigt. Um eine kontrollierte Beobachtung des Modellverhaltens zu ermöglichen, werden alle Quellen bis auf eine in der auf Stufe 2 angenommenen Aufwandsperzeption belassen. Unterstellt man der ausgewählten Quelle nacheinander Verkehrsverteilungen, die gegenüber Stufe 2 eine Tendenz zur Marktbeherrschung, zur Gleichverteilung und zur Spezialisierung beinhalten, dann erhält man jeweils Exponenten für die Entfernungsfunktion, die in der angegebenen Reihung monoton fallen. Diese Veränderung des Exponenten

bewirkt über die Veränderung der räumlichen Konkurrenz ein geändertes Versenderverhalten aller Quellen. Damit werden von der Quelle mit veränderter Aufwandsperzeption freigemachte bzw. zusätzlich beanspruchte Marktanteile am Empfang von Senken von allen anderen Quellen je nach relativer Lage übernommen bzw. abgegeben. Dieser systemartige Zusammenhang zwingt dazu, die jeder Quelle zukommende Aufwandsperzeption gleichzeitig für das Untersuchungsgebiet und nicht getrennt zu ermitteln.

Ergänzend ist zu bemerken, daß die räumliche Variation der Versandexponenten auf Stufe 5 zwar ein Schritt näher zur Realität darstellt, die weiter oben festgestellte Schwäche des Modells bei Approximation bestimmter Verkehre nicht beseitigt. Letztlich stellt im Anwendungsfall der Vergleich der auf Stufen 3 und 5 ermittelten räumlichen Widerstandsfunktionen eine Möglichkeit dar, räumliche Verteilungsmuster zu abstrahieren bzw. vergleichbar zu machen.

Die gewonnenen Ergebnisse lassen sich für praktische Untersuchungen einsetzen. z.B. wenn es darum geht, eine Auswahl der Verkehrsschwerpunkte zu treffen. Weiter bieten die theoretischen Ansätze zur inneren Struktur der Verkehrsverteilung unter der Entropie-Maximierungshypothese Anlaß zur gezielten empirischen Überprüfung, so etwa der Begünstigung des Rand-Rand-Verkehrs auf Stufe 2 oder des Wachstums der Entropie der Verkehrsverteilung in Abhängigkeit von Aufkommen und relativer Lage.

6.4 MODELLANWENDUNG AUF REALEN TEILVERKEHR

Die durchgeführte Modellanwendung hat den Zweck, die Anpassung der beschriebenen Struktur an reale Verhältnisse zu untersuchen. Da es sich bei der modellhaft berechneten Verkehrsverteilung um ein abgeschlossenes System handelt, ist sowohl die Frage der Güte der Modellapproximation als auch die Frage nach dem Norm-Charakter der Approximation zu stellen.

Als Untersuchungsgebiet wird Süddeutschland ausgewählt, wobei das aus den Schwerpunkten der süddeutschen VB gebildete Punktmuster eine Idealisierung als Hexagonalmuster zuläßt. Von der Untersuchung eines Güteraggregates wurde wegen der Unüberschaubarkeit einander überlagernder Brancheneinflüsse abgesehen. Dagegen läßt sich der in der Güterbewegungsstatistik ausgewiesene Verkehr mit Elektrotechnischen Erzeugnissen in guter Annäherung der Produktion der Elektrotechnischen Industrie gleichsetzen. Es kann sogar gezeigt werden, daß das regionale Versandaufkommen von der Produktionsstruktur der betreffenden VB abhängig ist, ebenso die Anteile der Verkehrsträger Bahn und LKW am Gesamtversand der jeweiligen Quelle.

Da bei der realen VSM die räumliche Variation von Aufkommen und Entropie nicht den untersuchten Fällen entspricht, scheint es geboten, einige Aspekte der inneren Struktur dieser Matrix zu beleuchten, um auch die Schwierigkeiten der Modellapproximation zu erkennen. Sowohl die Gewichtsverteilung als auch die Präferenzverteilung des Versands der Quellen erweist sich vom Γ -Typ. Dabei können noch Zusammenhänge zwischen der individuellen Ausprägung des Typs und dem Vorherrschen von Nachbarschaftsverkehren bzw. der Produktionsausrichtung nachgewiesen werden. Mit Hilfe eines einfachen Urnenmodells wird versucht, die Zielauswahl der Quellen in den (gewichtsmäßig) ersten 5 Relationen nachzubilden. Die dabei benutzten Hypothesen werden mit wachsender Berücksichtigung des Raumes besser, wobei die Existenz von zwei Interaktionsblöcken, den Bundesländern, als gesichert gilt. Innerhalb dieser Blöcke agieren die Schwerpunkte untereinander wesentlich intensiver als über die Landesgrenzen hinweg.

Versucht man, noch unterhalb der Länderebene Teilsysteme zu ermitteln - darunter wird eine Auswahl von Verkehrsschwerpunkten verstanden, die untereinander signifikant mehr interagieren als mit dem Rest außerhalb dieser Gruppe -, erhält man eine relativ große Zahl überwiegend räumlich zusammenhängender Teilsysteme, die vor allem in Ost- und Südbayern in größerem Rahmen auftreten. Darüber hinaus werden zwei Teilsysteme aus theoretischen Gesichtspunkten gebildet: die Punktmusterverdichtung im Nordwesten, die Punktauflockerung im Zentrum des Untersuchungsgebietes.

Überdies werden fünf Quellen ausgewählt, deren Präferenzverteilungen typisch sind und von Marktbeherrschung bis Gleichverteilung reichen. Modellfremd sind hierbei die Mehrteilung (Zersplitterung) überragender Präferenzgebiete und die ausgesprochene Selektivität in der Zielauswahl.

Betrachtet man die Modellapproximation des beschriebenen Verkehrs auf den verschiedenen Stufen, so erhält man auf den Stufen 2 und 3 eine sehr vom Punktmuster beeinflusste Approximation im Mittel, wobei kaum Unterschiede hinsichtlich der Punktmuster 'Hexagonal' und 'Süd-VB' zu bemerken sind. Dabei übertreffen die Entropiewerte der regionalen Modell-Verkehrsverteilungen jene der realen Verkehrsverteilungen. Nur 10% der Relationen werden mit einem Fehler unter 10% des zu schätzenden Wertes nachgebildet. Jedoch handelt es sich vornehmlich um aufkommensstarke Relationen.

Auf Stufe 5 wird durch die Vorgabe regional differenzierter Aufwandsgrößen keine Beseitigung der Approximation im Mittel erreicht, da die übergeordnete Hypothese der Maximierung der Entropie im Gesamtsystem beibehalten wird. Jedoch nähern sich modellhaft berechnete und reale Entropiewerte an, zeigen sich Ansätze einer gezielten Verbesserung der Approximation. Außerdem findet die Existenz zweier Interaktionsblöcke ihren Niederschlag in der vom räumlichen Konkurrenzmodell vorgenommenen Erhöhung der Versandkosten an baden-württembergischen Senken, begleitet von höheren Versandexponenten der Quellen dieses Landes.

Da die bisherige Annäherung nicht zufriedenstellend ist, außerdem die Bevorzugung der Quellen bei der Ausgestaltung einer Verkehrs-

beziehung zwischen zwei Verkehrsschwerpunkten abgebaut werden soll, wird eine nochmalige Erweiterung des räumlichen Konkurrenzmodells der Stufe 5 vorgenommen, indem auch der Senke eine regional differenzierte Aufwandsperzeption unterstellt wird. Man erhält zwar weiterhin eine Approximation im Mittel, jedoch wird diese wesentlich durch Annäherung aufkommensstarker Relationen unter Berücksichtigung regionaler Selektivitäten gestützt, erreicht somit das höchste Bestimmtheitsmaß für die Güte der Approximation im Gesamtsystem.

Betrachtet man die theoretisch ausgewählten Teilsysteme, dann veranlassen die Punktdichtevariationen das Modell, kleinräumige Strukturen nachzubilden, die - auf Stufe 3 - annähernd der Realität entsprechen. Mit zunehmender Information über den regionalen Aufwand (Stufe 5, Erweiterung) stellt sich oft eine Entfernung von der Realität ein.

Damit zeigt sich, daß das Modell versagt, wenn Einzelrelationen oder Teilsysteme approximiert werden sollen. Entsprechend der benutzten Information ist aber auch nur eine Approximation der übergeordneten Struktur zu erwarten. Dabei gestatten es die Raumvariablen, die Intensität der Interaktion über die Entfernung und in Abhängigkeit von der relativen Lage der in Kontakt befindlichen Quellen und Senken abzuwandeln.

SUMMARY

SCIENTIFIC APPROACH

Regarding the development of science as an alternation of empirical work and theoretical penetration, then in the case of trip distribution it is the turn of considering the underlying theory. The papers of A.G. Wilson concerning entropy maximizing methods serve as starting-point. Wilson's derivation of his trip distribution model is based on a hypothesis characterizing the most probable state of trip distribution using 'distance' and rather global information about the traffic under investigation. But it can be shown that 'relative location' is also implicitly introduced into the model and that the global hypothesis establishes a marked inner regional structure of trip distribution. The underlying point pattern of chosen traffic sources and sinks therefore affects the results of the model application, but, contrary to the opinion of Curry and Johnston, it is claimed that there are possibilities to express them such that they can be compared with those of other investigations.

APPLIED METHODS

After stating the related components (cf. Minshull) of the slightly modified Wilson-model, space is structured in five succeeding levels holding most of the components constant while either one or a few are allowed to vary areally (cf. figure 3, p. 34). In addition, chosen traffic sources/sinks are classified according to accessibility. The underlying point patterns themselves are categorized into two classes: one class represented by the hexagonal point pattern contains point patterns with low influence of 'relative location' on trip distribution; however, distorting hexagonal point pattern increases the influence of 'relative location'. Those point patterns are grouped together in another class. Sometimes ordinal instead of real (euclidean) distances are used.

Methodological aspects reported so far dealt with varying and idealizing the components of the model. Besides the structuring of space there is however also the possibility of standardizing travelling behaviour - in the case of freight transport, the behaviour of sender/receiver (cf. figure 64, p. 182/183).

RESULTS OF MODEL INVESTIGATION

Regarding level 1, model application provides a trip distribution which is to be expected if sources and sinks are independent (in the sense of probability theory). In addition, this level may serve as reference level for further investigations because under given row and column sums of the matrix of traffic distribution entropy is maximized absolutely. Thus elementwise division of higher level trip distribution matrices with the one of level 1 produces the so called 'preference-matrix'.

Proceeding to level 2, the deterrence function is introduced with the consequence that 'relative location' affects model generated trip distribution. To satisfy the constraints (cf. notions (1), (2), p. 9), balancing factors are to be calculated which are interpreted as the reciprocal amount of the 'areal competition', caused by the 'relative location'.

Areal competition in fact increases from the margin to the centre of point pattern. This increase can be raised by using a distorted hexagonal point pattern. According to the spatial distribution of areal competition the entropy of traffic distribution is lowest for marginal sources and increases towards the centre of the point pattern. The inner structure of traffic distribution is therefore characterized by high contact intensities of marginal sources with their neighbourhood sinks lowering very quickly in the case of sinks in central or opposite marginal location whereas central sources are seen to distribute their traffic more equally.

Varying the quantities to be sent and received (cf. level 3) leads to differing results which are described in Chapter 4. As regards local entropy, the latter is increased if the amount of traffic to be sent/received is increased but dependent on the relative location of the source/sink under consideration.

Approaching reality on level 4/5, the senders (sources) are allowed to have different perception of potential receivers (sinks). In doing this it appears extremely important to calculate the appropriate deterrence functions imultaneously and not - as is to be seen in various case studies - successively.

MODEL APPLICATION

As investigation area for model application Southern Germany has been chosen, partly because the mid-points of the traffic cells can be transformed into a hexagonal pattern. First the freight traffic with electrotechnical goods in 1972 is examined (cf. Chapter 3/5). It appears that there exist two areas of intensive inner but weak intra-regional interactions which are identical with the states of Baden-Württemberg and Bavaria. Moreover, sources select their receiver-sinks so that one might expect a discrete rather than a continuous preference distribution.

Application shows that on level 5 the model is sensitive enough to recognize the existence of the two interaction areas but it fails in rebuilding the selective preferences. But this could not be expected because the hypothesis is a global one based on global, partly regionalized information about the traffic under investigation. The ability to rebuild discrete preference distributions would assume regional and local information which is not generally available.

LITERATURVERZEICHNIS

- 1 Abler, R.: Distance, Intercommunications and Geography.
In: Proceedings of the Association of American Geographers,
3 (1971), pp. 1 - 4.
- 2 Abler, R.; Adams, J.S.; Gould, P.: Spatial Organization. The
Geographer's View of the World. London 1972².
- 3 Alcaly, R.: Aggregation and gravity models: some empirical
evidence. In: Journal of Regional Science 7 (1967),
pp. 61 - 73.
- 4 Amedeo, D.; Golledge, R.G.: An Introduction to Scientific
Reasoning in Geography. New York 1975.
- 5 Anderson, T.W.: An introduction to multivariate statistical
analysis. New York 1966.
- 6 Angel, S.; Hyman, G.M.: Urban spatial interaction. In:
Environment & Planning 4 (1972), pp. 99 - 118.
- 7 Appleton, J.A.: A Morphological Approach to the Geography of
Transport. Hull 1965.
- 8 Arnberger, Erik: Handbuch der thematischen Kartographie.
Wien 1966.
- 9 Bachi, R.: Standard distance measures and related methods for
spatial analysis. In: Papers of the Regional Science
Association 10 (1963), pp. 83 - 132.
- 10 Bahrenberg, G.; Giese, E.: Statistische Methoden und ihre An-
wendung in der Geographie. Stuttgart 1975.
- 11 Bartels, D.: Zur wissenschaftstheoretischen Grundlegung einer
Geographie des Menschen. (Erdkundliches Wissen, Heft 19).
Wiesbaden 1968.
- 12 Bartels, D. (Hrsg.): Wirtschafts- und Sozialgeographie.
(Neue Wissenschaftliche Bibliothek, Vol. 35). Köln 1970.
- 13 Batty, M.: Spatial entropy. In: Geographical Analysis 6 (1974),
pp. 1 - 31.
- 14 Batty, M.; Mackie, S.: The calibration of gravity, entropy and
related models of spatial interaction. In: Environment and
Planning 4 (1972), pp. 205 - 233.
- 15 Bayliss, B.T.; Edwards, S.L.: Industrial demand for transport.
London 1970.
- 16 Baxter, R.S.; Lenzi, G.: The measurement of relative
accessibility. In: Regional Studies 9 (1975), pp. 15 - 25.

- 17 Becker, J.: Probleme regionaler Güterfernverkehrsprognosen. (Beiträge aus dem Institut für Verkehrswissenschaft, Heft 67). Göttingen 1972.
- 18 Benthe, M.: A predictive model of regional demands for freight transportation. In: Journal of Regional Science 12 (1972), pp. 85-94.
- 19 Berry, B.J.L.: Geography of market centers and retail distribution. Englewood Cliffs, N.J. 1967.
- 20 Berry, B.J.L.: Interdependency of spatial structure and spatial behaviour: a general field theory formulation. In: Papers and Proceedings of the Regional Science Association 21 (1968), pp. 205-227.
- 21 Berry, B.J.L.; Conkling, E.C.; Ray, D.M.: The Geography of Economic Systems. Englewood Cliffs, N.J., 1976.
- 22 Berry, B.J.L.; Lamb, R.F.: The Delineation of Urban Spheres of Influence: Evaluation of an Interaction Model. In: Regional Studies 8 (1974), pp. 185-190.
- 23 Berry, B.J.L.; Marble, D.F. (Hrsg.): Spatial analysis: a reader in statistical geography. Englewood Cliffs, N.J., 1968.
- 24 Bertin, J.: Graphische Semiologie. Diagramme, Netze, Karten. Berlin, New York 1974.
- 25 Biermann, H.: Kybernetische Prognosemodelle in der Regionalplanung. (Wirtschaftskybernetik und Systemanalyse, Band 2). Berlin 1970.
- 26 Billeter, E.P.: Grundlagen der Elementarstatistik. Beschreibende Verfahren. Wien 1970.
- 27 Black, W.: The utility of the gravity model and estimates of its parameters in commodity flow studies. In: Proceedings of the Association of American Geographers 3 (1971), pp. 28-31.
- 28 Black, W.: Interregional commodity flows: some experiments with the gravity model. In: Journal of Regional Science 12 (1972), pp. 107-118.
- 29 Black, W.: An analysis of gravity model distance exponents. In: Transactions 2 (1973), pp. 299-312.
- 30 Black, W.: Toward a factorial ecology of flows. In: Economic Geography 49 (1973), pp. 59-67.
- 31 Black, W.; Larson, R.: A comparative evaluation of alternate friction factors in the gravity model. In: Professional Geographer 24 (1972), pp. 335-337.
- 32 Blackwell, D.: Basic Statistics. New York 1969.

- 33 Boots, B.N.: Some Models of the Random Subdivision of Space. In: Geografiska Annaler 55B (1973), pp. 34 - 47.
- 34 Braun, G. (Hrsg.): Räumliche und zeitliche Bewegungen. Methodische und regionale Beiträge zur Erfassung komplexer Räume. (Würzburger Geographische Arbeiten, Heft 37). Würzburg 1972.
- 35 Breitenacher, M.; Knörndel, K.-D.; Schedl, H.; Scholz, L.: Elektrotechnische Industrie. (Ifo: Struktur und Wachstum, Reihe Industrie, Heft 21). München 1974.
- 36 Britton, J.N.H.: The interaction model and relative location variables. In: Geografiska Annaler 53B (1971), pp. 129 - 137.
- 37 Britton, J.N.H.: Methodology in flow analysis. In: East Lakes Geographer 7 (1971), pp. 22 - 36.
- 48 Bronstein, I.N.; Semendjajew, K.A.: Taschenbuch der Mathematik. Frankfurt 1967⁷.
- 39 Brown, L.A.: On the use of Markov chains in movement research. In: Economic Geography 46 (1970), pp. 393 - 403.
- 40 Brown, L.A.; Horton, F.E.: Functional distance: an operational approach. In: Geographical Analysis 2 (1970), pp. 76 - 83.
- 41 Brown, L.A.; Odland, J.; Golledge, R.: Migration, Functional Distance and the Urban Hierarchy. In: Economic Geography 46 (1970), pp. 472 - 485.
- 42 Brown, R.C.: The use and mis-use of distance variables in land-use analysis. In: Professional Geographer 20 (1968), pp. 337 - 341.
- 43 Buckley, D.J. (Hrsg.): Transportation and Traffic Theory. Proceedings of the 6th International Symposium on Transportation and Traffic Theory. New York, Amsterdam 1974.
- 44 Bundesanstalt für den Güterfernverkehr (Hrsg.): Der Fernverkehr mit Lastkraftfahrzeugen im Jahre 1972. Zusammengefaßte Übersichten zur Güterbewegung. Köln 1973.
- 45 Bundesverband des Deutschen Güterfernverkehrs (Hrsg.): Reichskraftwagentarif (RKT), Teil II. 3. Tarifentfernungen, Heft 3. Frankfurt 1970.
- 46 Bunge, W.: Theoretical Geography. (Lund Studies in Geography, Series C, General and Mathematical Geography Nr. 1). Lund 1966.
- 47 Carrothers, G.: An historical review of the gravity and potential concepts of human interaction. In: Journal of the gravity and potential concepts of human interaction. In: Journal of the American Institute of Planners 22 (1956), pp. 95 - 102.

- 48 Cesario, F.J.: Linear and nonlinear regression models of spatial interaction. In: *Economic Geography* 51 (1975), pp. 69 - 77.
- 49 Cesario, F.J.: Parameter estimation in spatial interaction modelling. In: *Environment & Planning* 5 (1973), pp. 503 - 518.
- 50 Cesario, F.J.: The Interpretation and Calculation of Gravity model zone-to-zone adjustment factors. In: *Environment & Planning* 6 (1974), pp. 247 - 258.
- 51 Cesario, F.J.: Least-squares estimation of trip distribution parameters. In: *Transportation Research* 9 (1975), pp. 13 - 18.
- 52 Chisholm, M.; O'Sullivan, P.: Freight flows and spatial aspects of the British economy. (Cambridge Geographical Studies 4). Cambridge 1973.
- 53 Chorley, R.J.; Haggett, P. (Hrsg.): *Models in Geography*. London 1967.
- 54 Claeson, C.F.: Distance and human interaction. Review and discussion of a series of essays on geographic model building. In: *Geografiska Annaler* 50B (1968), pp. 143 - 161.
- 55 Claeson, C.F.: Zone preference in interregional population movement. In: *Geografiska Annaler* 50B (1968), pp. 133 - 142.
- 56 Claeson, C.F.: A two stage model of in-migration to urban centres: deductive development of a variant of the gravity formulation. In: *Geografiska Annaler* 51B (1969), pp. 127 - 138.
- 57 Clark, P.J.; Evans, F.C.: Distance to nearest neighbour as a measure of spatial relationships in populations. In: *Ecology* 35 (1954), pp. 445 - 453.
- 58 Cliff, A.D.; Ord, J.K.: *Spatial Autocorrelation*. London 1973.
- 59 Cliff, A.D.; Martin, R.L.; Ord, J.K.: Evaluating the friction of distance parameters in gravity models. In: *Regional Studies* 8 (1974), pp. 281 - 286.
- 60 Cliff, A.D.; Martin, R.L.; Ord, J.K.: Map pattern and friction of distance parameters: reply to comments by R.J. Johnston, and by L. Curry, D.A. Griffith and E.S. Sheppard. In: *Regional Studies* 9 (1975), pp. 285 - 288.
- 61 Cliff, A.D.; Martin, R.L.; Ord, J.K.: A reply to the final comment. In: *Regional Studies* 10 (1976), pp. 341 - 342.
- 62 Coelho, J.D.; Wilson, A.G.: An equivalence theorem to integrate entropy-maximizing submodels within overall mathematical-programming frameworks. In: *Geographical Analysis* 9 (1977), pp. 160 - 173.

- 63 Curry, L.: A spatial analysis of gravity flows. In: Regional Studies 6 (1972), pp. 131 - 147.
- 64 Curry, L.: A bivariate spatial regression operator. In: The Canadian Geographer 16 (1972), pp. 1 - 14.
- 65 Curry, L.; Griffith, D.A.; Sheppard, E.S.: Those Gravity Parameters Again. In: Regional Studies 9 (1975), pp. 289 - 296.
- 66 Curry, L.; Griffith, D.A.; Sheppard, E.S.: A final comment on mis-specification and autocorrelation in those gravity parameters. In: Regional Studies 10 (1976), pp. 337 - 340.
- 67 Dacey, M.F.: Two-dimensional random point patterns: a review and an interpretation. In: Regional Science Association, Papers, 13 (1964), pp. 41 - 55.
- 68 Deutsche Bundesbahn (Hrsg.): Deutscher Eisenbahn-Güter- und Tiertarif, Teil II. Heft D, Bahnhofstarif. Anhang, gültig vom 1. Juni 1970 an. Hannover 1970.
- 69 Deutscher Bundestag (Hrsg.): Bundesverkehrswegeplan, 1. Stufe. Drucksache 7/1045. Bonn 1973.
- 70 Dixon, W.J. (Hrsg.): BMD Biomedical Computer Programs. (University of California Publications in automatic Computation, Nr. 2). Berkely 1971.
- 71 Drachsel, L.: Bestimmungsgründe des interregionalen Güterverkehrs. Diss. Hamburg 1972.
- 72 Edens, H.J.: Analysis of a modified gravity model. In: Transportation Research 4 (1970), pp. 51 - 62.
- 73 Erlander, Sven: Accessibility, entropy and the distribution and assignment of traffic. In: Transportation Research 11 (1977), pp. 149 - 153.
- 74 Evans, A.W.: Some properties of trip distribution methods. In: Transportation Research 4 (1970), pp. 19 - 36.
- 75 Evans, I.S.: The selection of class intervals. In: Transactions 2 (1977), pp. 98 - 124.
- 76 Evans, S.P.; Kirby, H.R.: A three-dimensional Furness procedure for calibration gravity models. In: Transportation Research 8 (1974), pp. 105 - 122.
- 77 Evans, S.P.: Derivation and analysis of models for combining trip distribution and assignment. In: Transportation Research 10 (1976), pp. 37 - 57.
- 78 Ewing, G.O.: Gravity and linear regression models of spatial interaction: A cautionary note. In: Economic Geography 50 (1974), pp. 83 - 88.

- 79 Fisch, Oscar: On the utility of entropy maximation. In: Geographical Analysis 9 (1977), pp. 79 - 84.
- 80 Fischer, M.M.: Eine theoretische und methodische Analyse mathematischer Stadtentwicklungsmodelle vom Lowry-Typ. Ein methodischer Beitrag zur Regionalforschung. (RMF, Heft 83). Frankfurt 1976.
- 81 Fisz, M.: Wahrscheinlichkeitsrechnung und mathematische Statistik. Berlin 1973⁷.
- 82 Fliri, F.: Statistik und Diagramm. Braunschweig 1969.
- 83 Fochler-Hauke, G.: Verkehrsgeographie. Braunschweig 1972.
- 84 Freitag, U.: Verkehrskarten. (Gießener Geographische Schriften, Heft 8). Gießen 1966.
- 85 Fügel-Waverijn, I.: Struktur und Entwicklung der Elektrotechnischen Industrie in Baden-Württemberg. Aus: Jahrbücher für Statistik und Landeskunde von Baden-Württemberg 1970. Stuttgart 1971, pp. 5 - 71.
- 86 Gehrig, G.: Ergebnisse der Input-Output-Rechnung 1964. T. 1 - 6. München 1969.
- 87 Gehrig, G.: Konstruktion von Input-Output-Tabellen und -Modellen mit Hilfe elektronischer Datenverarbeitung. Berlin 1969.
- 88 Gerthsen, Chr.: Physik. Berlin 1966⁹.
- 89 Gleißner, E.: Die Zusammenhänge zwischen Wirtschaft und Güterverkehr in der BRD. (Schriftenreihe des Ifo-Instituts für Wirtschaftsforschung, Nr. 62). Berlin 1966.
- 90 Glejser, H.; Dramais, A.: A gravity model of interdependent equations to estimate flow creation and diversion. In: Journal of Regional Science 9 (1969), pp. 439 - 449.
- 91 Goodman, L.: Statistical methods for the preliminary analysis of transaction flows. In: Econometrica 31 (1963), pp. 197 - 208.
- 92 Gordon, I.R.: Gravity demand functions, accessibility and regional trade. In: Regional Studies 10 (1976), pp. 25 - 37.
- 93 Gould, P.R.: Pedagogic review - A.G. Wilson, Entropy in urban and regional modelling. In: Annals of the Association of American Geographers 62 (1972), pp. 689 - 700.
- 94 Gould, P.: Acquiring spatial information. In: Economic Geography 51 (1975), pp. 87 - 99.
- 95 Gould, P.; White, R.: Mental Maps. Harmondsworth 1974.

- 96 Gould, P.R.; Smith, R.H.T.: Method in commodity flow studies. In: The Australian Geographer 8 (1960-62), pp. 73-77.
- 97 Grauert, H.; Lieb, I.; Fischer, T.: Differential- und Integralrechnung I bis III. Berlin 1967/68.
- 98 Grigg, D.: The Logic of Regional Systems. In: Annals of the Association of American Geographers 55 (1965), pp. 465-491.
- 99 Hägerstrand, T.: Migration and Area. Aus: Migration in Sweden. Lund Studies in Geography, Ser. B. Human Geography, Nr. 13, 1957, pp. 27-158.
- 100 Haggett, P.: Einführung in die kultur- und sozialgeographische Regionalanalyse. Berlin, New York 1973.
- 101 Haggett, P.: Geography: A Modern Synthesis. New York, Evanston, San Francisco, London 1975².
- 102 Hammond, R.; McCullagh, P.S.: Quantitative techniques in geography. An Introduction. Oxford 1974.
- 103 Hansen, S.: Utility, accessibility and entropy in spatial modelling. In: Swedish Journal of Economics 74 (1972), pp. 35-44.
- 104 Hansen, S.: Entropy and utility in traffic modelling. Aus: Buckley, D.J. (Hrsg.): Transportation and traffic theory. New York, Amsterdam 1974, pp. 435-452.
- 105 Harris, B.: A note on the probability of interaction at a distance. In: Journal of Regional Science 5 (1964), pp. 31-35.
- 106 Hay, A.M.: Transport for the space economy. London 1973.
- 107 Haynes, R.M.: Application of exponential distance decay to human and animal activities. In: Geografiska Annaler 56 B (1974), pp. 90-104.
- 108 Heggie, I.G.: Are gravity and interactance models a valid technique for planning regional transport facilities? In: Operational Research Quarterly 20 (1969), pp. 93-110.
- 109 Herbert, B.; Murphy, E.: Evolution of an accessibility surface: the case of the United States air network. In: Proceedings of the Association of American Geographers 3 (1971), pp. 75-79.
- 110 Hettner, A.: Verkehrsgeographie. III. Band aus: Allgemeine Geographie des Menschen. Stuttgart 1952.
- 111 Hidber, C.: Die raumplanerischen Leitbilder der Schweiz unter besonderer Berücksichtigung des Teilleitbildes Verkehr. In: Schweizer. Arch. f. Verkehrswissenschaft und Verkehrspolitik 26 (1971), pp. 157-185.

- 112 Hinderer, K.: Wahrscheinlichkeitstheorie. Berlin 1972.
- 113 Hirst, M.A.: Hierarchical aggregation procedures for interaction data: a comment. In: Environment & Planning A, 1977, Vol. 9, pp. 99 - 103.
- 114 Hope, A.C.A.: A Simplified Monte Carlo Significance Test Procedure. In: Journal of the Royal Statistical Society, Ser. B, 30 (1968), pp. 582 - 598.
- 115 Hoppenstedt-Verlag: Handbuch der Großunternehmen 1973. 20.Aufl., Darmstadt 1973.
- 116 Horton, F.E.; Wittick, R.I.: A Spatial Model for Examining the Journey-to Work in a Planning Context. In: Professional Geographer 21 (1969), pp. 223 - 226.
- 117 Hurst, M.E.: Transportation Geography. Comments and readings. New York 1974.
- 118 Hurst, M.E.: The geographic study of transportation its definition, growth and scope. Aus: Hurst, M.E. (Hrsg.): Transportation Geography. Comments and Readings. New York 1974, pp. 1 - 15.
- 119 Ifo-Institut f. Wirtschaftsforschung (Hrsg.): Die Entwicklungstendenzen des Güterverkehrs in der BRD bis zum Jahre 1970. (Schriftenreihe, Nr. 40). München 1960.
- 120 Ifo-Institut f. Wirtschaftsforschung (Hrsg.): Die voraussichtliche Entwicklung der Nachfrage nach Gütertransporten in der BRD bis zum Jahre 1975. (Schriftenreihe, Nr. 60). München 1965.
- 121 Imhof, E.: Thematische Kartographie. Berlin und New York 1972.
- 122 Ingram, D.R.: The concept of accessibility: a search for an operational form. In: Regional Studies 5 (1971), pp. 101 - 107.
- 123 Isaacson, E.; Keller, H.B.: Analysis of numerical methods. New York 1966.
- 124 Isard, W.: Location and Space Economy. Cambridge 1956.
- 125 Isard, W. et al.: Methods of Regional Analysis: An Introduction to Regional Science. Cambridge (Mass.) 1960.
- 126 Jaumann, A.: Wirtschafts- und Verkehrspolitik in Bayern 1972. München 1972.
- 127 Jensen-Butler, Chr.: Gravity models as planning tools: A review of theoretical and operational problems. In: Geografiska Annaler 54B (1972), pp. 68 - 78.

- 128 John, G.: Die Verkehrsströme innerhalb der BRD nach Gütergruppen und Verkehrsarten. Standortstruktur, Verkehrsverflechtung und Netzbelastung als Basis einer Verkehrsprognose. (DIW-Beiträge zur Strukturforschung, Heft 3). Berlin 1967.
- 129 Johnston, R.J.: On frictions of distance and regression coefficients. In: *Area* 5 (1973), pp. 187 - 191.
- 130 Johnston, R.J.: Map pattern and friction of distance parameters: a comment. In: *Regional Studies* 9 (1975), pp. 281 - 283.
- 131 Johnston, R.J.: On regression coefficients in comparative studies of the 'frictions of distance'. In: *TESG* 67 (1976), pp. 15 - 28.
- 132 Jürgensen, H.: Entwicklungstendenzen im Mineralölverkehr. (Verkehrswissenschaftliche Studien 20). Göttingen 1972.
- 133 Karlqvist, A.; Marksjö, B.: Statistical urban models. In: *Environment & Planning* 3 (1971), pp. 83 - 98.
- 134 Kau, W.: Theorie und Anwendung raumwirtschaftlicher Potentialmodelle. (Institut f. Angewandte Wirtschaftsforschungen, Tübingen, Schriftenreihe Band 17). Tübingen 1970.
- 135 Kawakami, Shogo: A gravity model for trip distribution. Aus: Buckley, D.J. (Hrsg.): *Transportation and Traffic Theory*. New York, Amsterdam 1974, pp. 327 - 343.
- 136 Kendall, M.G.: *Time-Series*. London 1973.
- 137 Kilchenmann, A.: Operationalisierte geographische (räumliche) Interaktionstheorie. (Karlsruher Manuskripte zur Mathematischen und Theoretischen Wirtschafts- und Sozialgeographie, Heft 18). Karlsruhe 1976.
- 138 Killisch, W.W.: Gravitationsmodelle in der Wanderungsforschung. Eine kritische Analyse des Gravitationskonzeptes. In: *Raumforschung und Raumordnung* 34 (1976), pp. 173 - 176.
- 139 King, L.: *Statistical Analysis in Geography*. Englewood Cliffs 1969.
- 140 King, L.; Casetti, E.; Odland, J.; Semple, K.: Optimal Transportation Pattern of Coal in the Great Lakes Region. In: *Economic Geography* 47 (1971), pp. 401 - 413.
- 141 Kirby, H.R.: Normalizing factors of the gravity model - an interpretation. In: *Transportation Research* 4 (1970), pp. 37 - 50.
- 142 Kirby, H.R.: Theoretical requirements for calibrating gravity models. In: *Transportation Research* 8 (1974), pp. 97 - 104.

- 143 Kirby, H.R.: Accessibility indices for abstract road networks. In: Regional Studies 10 (1976), pp. 479 - 482.
- 144 Kirchhoff, P.: Verkehrsverteilung mit Hilfe eines Systems bilinearer Gleichungen. Ein Beitrag zur Entwicklung von Verkehrsverteilungsmodellen. (Veröffentlichung des Inst. f. Stadtbauwesen, TU Braunschweig, Heft 5). Braunschweig 1970.
- 145 Laulajainen, R.: An entrepreneurial View of Transportation. In: Geografiska Annaler 55B (1973), pp. 106 - 120.
- 146 Lauth, W.: Die Standort- und geographische Leistungsstruktur der Unternehmungsformen in der Binnenschifffahrt der BRD und ihre Abhängigkeit von den verkehrsgeographischen Gegebenheiten des bundesdeutschen Wasserstraßennetzes. (Frankfurter Wirtschafts- und Sozialgeographische Schriften, Heft 15). Ffm 1974.
- 147 Leinbach, T.R.: Distance, information flows and modernization: some observations from West Malaysia. In: Professional Geographer 25 (1973), pp. 7 - 11.
- 148 Leinbach, T.R.: Forecasting transport development: testing the utility of a simple regression approach. In: Transportation 3 (1974), pp. 243 - 254.
- 149 Leinbach, T.R.; Muller, P.O.: Transportation geography. Aus: Board, Chr.; Chorley, R.J.; Haggett, P.; Stoddart, D.R.: Progress in Geography. International reviews of current research, Vol. 8, London 1976, pp. 178 - 231.
- 150 Leontief, W.: Die multiregionale Input-Output-Analyse. (Arbeitsgemeinschaft für Forschung des Landes NRW, Heft 123, 1963). Köln 1963.
- 151 Lewis, P.W.: Measuring spatial interaction. In: Geografiska Annaler 52B (1970), pp. 22 - 39.
- 152 Lindsay, I.; Barr, B.M.: Two stochastic approaches to migration: comparison of Monte Carlo Simulation and Markov Chain Models. In: Geografiska Annaler 54B (1972), pp. 56 - 67.
- 153 Lindstahl, S.; Johans, L.C.: Some models in marketing geography with special reference to probability surfaces. In: Acta Geographica Fenniae 20 (1968), pp. 237 - 253.
- 154 Lloyd, P.E.; Dicken, P.: Location in space - a theoretical approach to economic geography. New York 1972.
- 155 Lowe, J.C.; Moryadas, S.: The Geography of Movement. Boston 1975.
- 156 Mackay, J.R.: The interactance hypothesis and boundaries in Canada: A preliminary Study. In: The Canadian Geographer 11 (1958), pp. 1 - 8.

- 157 Mäcke, P.A.; Hölsken, D.: Generalverkehrsplan Ruhrgebiet. Individualverkehr Analyse/Text. Essen 1967.
- 158 Marchand, B.: Information theory and geography. In: Geographical Analysis 4 (1972), pp. 234 - 257.
- 159 Marchand, B.: Deformation of a transportation surface. In: Annals of the Assoc. of American Geographers 63 (1973), pp. 507 - 521.
- 160 Marchand, B.: Besprechung von:
 - Papers in Urban and Regional Analysis von A.G. Wilson, London 1972.
 - Entropy in Urban and Regional Modelling von A.G. Wilson. London 1970.In: Geographical Analysis 6 (1974), pp. 89 - 95.
- 161 Marquardt, D.W.: An algorithm for least-squares estimation of nonlinear parameters. In: J. Soc. Indust. Ap. Math. (SIAM) 11 (1963), pp. 431 - 441.
- 162 Marshall, J.U.: The Construction of the Löschian Landscape. In: Geographical Analysis 9 (1977), pp. 1 - 13.
- 163 Martin, R.L.: On spatial dependence, bias and the use of first spatial differences in regression analysis. In: Area 6 (1974), pp. 185 - 194.
- 164 Masser, I.; Brown, P.J.B.: Hierarchical aggregation procedures for interaction data. In: Environment and Planning, A 7 (1975), pp. 509 - 523.
- 165 Matznetter, J.: Grundfragen der Verkehrsgeographie. In: Mittl. d. Österr. Geogr. Ges. Wien 95 (1953), pp. 109 - 124.
- 166 Medvedkov, Y.: Entropy: an assessment of potentialities in geography. In: Economic Geography 46 (1970), pp. 306 - 316.
- 167 Meine, K.-H.: Darstellung verkehrsgeographischer Sachverhalte. Ein Beitrag zur thematischen Verkehrskartographie. (Bundesanstalt f. Landeskunde und Raumforschung, Band 136). Bad Godesberg 1967.
- 168 Meinke, D.: Das Gravitations- und Potentialkonzept als Abgrenzungsmethode großstädtischer Einflußbereiche. In: Zeitschrift f. Nationalökonomie (Wien) 31 (1971), pp. 453 - 473.
- 169 Meyer, G.: Verkehrssektor und Zulieferindustrien - eine interindustrielle Verflechtungsanalyse -. (Beiträge aus dem Inst. f. Verkehrswissensch. a.d. Univ. Münster, Heft 64). Göttingen 1971.
- 170 Mikkonen, K.: The gravitation field of Forsa. A gravitational analysis of the functional system. (Fennia 115). Helsinki 1972.

- 171 Mikus, W.: Verkehrszellen. Beiträge zur verkehrsräumlichen Gliederung am Beispiel des Güterverkehrs der Großindustrie ausgewählter EG-Länder. (Bochumer Geographische Arbeiten. Sonderreihe. Band 4). Paderborn 1974.
- 172 Miller, R.L.; Kahn, J.S.: Statistical Analysis in the geological sciences. New York 1962.
- 173 Minshull, R.: An Introduction to Models in Geography. London, New York 1975.
- 174 Morley, C.D.; Thornes, J.B.: A Markov decision model for network flows. In: Geographical Analysis 4 (1972), pp. 180 - 193.
- 175 Morrill, R.L.: The distribution of migration distances. In: Papers of the Regional Science Association 11 (1964), pp. 75 - 84.
- 176 Nash, L.K.: Elements of statistical thermodynamics. Reading, Mass. 1967.
- 177 Niedercorn, J.H.; Bechdolt, B.V.: An economic derivation of the 'gravity law' of spatial interaction. In: Journal of Regional Science 9 (1969), pp. 273 - 282.
- 178 Nijkamp, P.; Paelinck, J.H.P.: A dual interpretation and generalization of entropy-maximization models in regional science. In: Pap. Reg. Sci. Assoc. 33 (1974), pp. 13 - 26.
- 179 Norcliffe, A.: Short communications. Trip distribution without entropy. In: Transportation Research 9 (1975), pp. 81 - 82.
- 180 Nordbeck, S.; Rystedt, B.: Isarithmic Maps and the Continuity of Reference Intervall Functions. In: Geografiska Annaler 52 B (1970), pp. 92 - 123.
- 181 Nystuen, J.D.: Zur Bestimmung einiger fundamentaler Raum-begriffe. Aus: Bartels, D.: Wirtschafts- und Sozial-geographie. Köln 1970, pp. 85 - 94.
- 182 Nystuen, J.D.; Dacey, M.F.: A graph theory interpretation of nodal regions. In: Papers and Proceedings of the Regional Science Association 7 (1971), pp. 29 - 42.
- 183 Obst, E.: Allgemeine Wirtschafts- und Verkehrsgeographie. 3.Auflage und Nachtrag 1969. Berlin 1965.
- 184 Obst, J.: Möglichkeiten zur Ermittlung von Aktionsreich-weiten durch Nachrichtenströme im Fernspreverkehr. In: Münchner Studien zur Sozial- und Wirtschaftsgeographie Band 8, Bevölkerungs- und Sozialgeographie. Deutscher Geographentag in Erlangen 1971, Ergebnisse der Arbeits-sitzung 3. Kallmünz 1972, pp. 83 - 88.

- 185 Okabe, A.: Spatial Aggregation Bias in Trip Distribution Probabilities: The Case of the Opportunity Model. In: *Transportation Research* 11 (1977), pp. 197-202.
- 186 Olsson, G.: Distance and Human Interaction: A Migration Study. In: *Geografiska Annaler* 47 B (1965), pp. 3-43.
- 187 Olsson, G.: Distance and Human Interaction: A Review and Bibliography. Regional Science Research Institute, Bibliography Series No. 2. Philadelphia 1965.
- 188 Olsson, G.: Central Place Systems, Spatial Interaction, and Stochastic Processes. In: *Papers and Proceedings of the Regional Science Association* 18 (1967).
- 189 Olsson, G.: Explanation, prediction and meaning variance: an assessment of distance interaction models. In: *Economic Geography* 46 (1970), pp. 223-231.
- 190 Openshaw, S.: Optimal zoning systems for spatial interaction models. In: *Environment and Planning A*, 9 (1977), pp. 169-184.
- 191 O'Sullivan, P.: Variations in distance friction in Great Britain. In: *Area* 2 (1970), pp. 36-39.
- 192 O'Sullivan, P.: On gravity and eruptions. In: *The Professional Geographer* 29 (1977), pp. 182-185.
- 193 O'Sullivan, P.; Ralston, B.: Forecasting intercity commodity transport in the USA. In: *Regional Studies* 8 (1974), pp. 191-195.
- 194 Otremba, E.: Allgemeine Geographie des Welthandels und des Weltverkehrs. Aus: Lütgens, R.: *Erde und Weltwirtschaft*. Stuttgart 1957, Band IV.
- 195 Otremba, E.: Räumliche Ordnung und zeitliche Folge im industriell gestalteten Raum. In: *Geographische Zeitschrift* 51 (1963), pp. 30-53.
- 196 Pauli, R.: Zur Einführung einer neuen Regionalgliederung in der Verkehrsstatistik. In: *Wirtschaft und Statistik* 21 (1969), pp. 305-309.
- 197 Plackett, R.L.: Random Permutations. In: *Journal of the Royal Statistical Society B*, 30 (1968), pp. 517-534.
- 198 Platt, R.: Wege des Modelldenkens in der Wirtschaftsgeographie. (Frankfurter Wirtschafts- und Sozialgeographische Schriften, Heft 25). Frankfurt/Main 1976.
- 199 Potthoff, G.: Die Korrelationsrechnung im Verkehrswesen. Köln und Opladen 1967.
- 200 Potthoff, G.: Verkehrsströmungslehre. Band 4: Analyse von Verkehrssystemen. Dresden 1972.

- 201 Pred, A.: Toward a typology of manufacturing flows. In:
The Geographical Review 54 (1964), pp. 65 - 84.
- 202 Projektgrupp Törnqvist: Lokalisering i det efterindustriella
samhället. Studier av kontakter och transporter. In:
Svensk Geografisk Arsbook 50 (1974), pp. 34 - 85.
- 203 Reif, B.: Models in urban and regional planning. New York
1973.
- 204 Renardy, A.: Die Standorte der elektrotechnischen Industrie
Deutschlands. Köln, Düren 1933. Diss.
- 205 Richter, K.J.: Verkehrsökonomie. Köln und Opladen 1969.
- 206 Ruiter, E.R.: Toward a better understanding of the inter-
vening opportunity model. In: Transportation Research 1
(1967), pp. 47 - 56.
- 207 Rushton, G.: Map transformation of point patterns: central
place patterns in areas of variable population density.
In: Papers of the Regional Science Associations 28 (1972),
pp. 111 - 129.
- 208 Ruske, H.: Determinanten der Widerstandsfunktion in der Ver-
kehrsverteilungsrechnung. In: Stadt, Region, Land 37
(1976), pp. 37 - 56.
- 209 Rutz, W.: Erreichdauer und Erreichbarkeit als Hilfswerte
verkehrsbezogener Raumanalyse. In: Raumforschung und
Raumordnung 29 (1971), pp. 145 - 156.
- 210 Sauberer, M.: Mathematische Modelle in der Stadtforschung
und Stadtplanung. Ein Überblick. In: Raumforschung und
Raumordnung 30 (1972), pp. 3 - 8.
- 211 Saviranta, J.: Chorological Matrices and Gravity Models in
Human Geography. (Fennia 121), Helsinki 1973.
- 212 Schaefer, F.K.: Exzeptionalismus in der Geographie: Eine
methodologische Untersuchung. Aus: Bartels, D. (Hrsg.):
Wirtschafts- und Sozialgeographie. Köln und Berlin 1970,
pp. 50 - 65.
- 213 Schliephake, K.: Geographische Erfassung des Verkehrs. Ein
Überblick über die Betrachtungsweisen des Verkehrs in der
Geographie und praktische Beispiele aus dem mittleren
Hessen. (Giessener Geographische Schriften, Heft 28).
Gießen 1973.
- 214 Schneewolf, H.: Ein Modell zur Prognose des Berufsverkehrs
auf der Basis der amtlichen Statistik. In: Raumforschung
und Raumordnung 28 (1970), pp. 255 - 261.
- 215 Schneider, W.L.: Bestimmungsgründe für Verkehrsnachfrage und
Verkehrswegeplanung. (Schriftenreihe des Ifo-Instituts,
Band 78). München 1972.

- 216 Schöller, P.: Rückblick auf Ziele und Konzeptionen der Geographie. In: Geographische Rundschau 29 (1977), pp. 34 - 38.
- 217 Schworm, K.: Agglomerations- und Deglomerationstendenzen in der elektrotechnischen Industrie. Aus: Agglomerations- und Deglomerationstendenzen in der westdeutschen Industrie, Ifo, München 1967, pp. 179 - 226.
- 218 Scott, A.J.: Combinatorial Programming, Spatial Analysis and Planning. London 1971.
- 219 Scott, C.H.; Jefferson, T.P.: Entropy maximizing models of residential location via geometric programming. In: Geographical Analysis 9 (1977), pp. 181 - 187.
- 220 Semple, R.K.; Wang, L.H.: A geographical analysis of changing redundancy in Inter-Urban Transportation Links. In: Geografiska Annaler 53 B (1971), pp. 1 - 5.
- 221 Siddall, W.R.: Transportation Geography; A Bibliography. Manhattan 1972.
- 222 Smirnow, W.L.: Lehrgang der höheren Mathematik. Teil I - V. Berlin 1962⁵.
- 223 Smith, D.: Interaction within a fragmented state. The example of Hawaii. In: Economic Geography 39 (1963), pp. 234 - 244.
- 224 Smith, R.H.T.: Concepts and methods in commodity flow analysis. In: Economic Geography 46 (1970), pp. 404 - 416.
- 225 Spiegel, M.R.: Theory and problems of statistics in SI Units. New York 1972.
- 226 Statistisches Bundesamt IB 3 (Hrsg.): Gegenüberstellung des Güterverzeichnis für die Verkehrsstatistik, Ausgabe 1969 mit dem Warenverzeichnis für die Industriestatistik Ausgabe 1970 und der Erzeugnisgliederung für die Land-, Forst-, Jagdwirtschaft und Fischerei, Ausgabe 1959. Wiesbaden, o.J.
- 227 Statistisches Bundesamt Wiesbaden (Hrsg.): Alphabetisches Warenverzeichnis für die Industriestatistik. Ausgabe 1970. Stuttgart und Mainz 1971.
- 228 Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Regionale Verteilung der Industriebetriebe und deren Beschäftigte nach Industriegruppen. Fachserie D, Industrie und Handwerk, Reihe 4 Sonderbeiträge zur Industriestatistik. Stuttgart und Mainz 1970/1974.
- 229 Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Industrielle Produktion 1972. Fachserie D, Industrie und Handwerk, Reihe 3. Stuttgart und Mainz 1973.
- 230 Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Binnenschifffahrt 1972. Fachserie H. Verkehr. Reihe 1. Stuttgart und Mainz 1973.

- 231 Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Eisenbahnverkehr 1972. Fachserie H. Verkehr. Reihe 4. Stuttgart und Mainz 1973.
- 232 Statistisches Landesamt Baden-Württemberg (Hrsg.): Die Industrie 1972. (Statistik von Baden-Württemberg, Band 201). Stuttgart 1974.
- 233 Steiner, A.: Interregionale Verkehrsprognosen. (Beiträge aus dem Inst. f. Verkehrswissenschaft an der Univ. Münster, Heft 41). Münster 1966.
- 234 Stokkan, John: The potential model - an analysis of some methodological problems. In: Norsk Geografisk Tidsskrift 29 (1975), pp. 111-132.
- 235 Stukenberg, H.: Die Stellung der Bahn in den Transportmärkten der siebziger Jahre - Statement und Prognose. Aus: Walz, W.; Waitz, H.H.: Verkehrsmärkte der Bahn. Probleme und Prognosen. Ein Kompendium des Güterverkehrs. Darmstadt 1972.
- 236 Stummel, F.; Hainer, K.: Praktische Mathematik. Stuttgart 1971.
- 237 Stutz, F.: Accessibility and the effect of scalar variation on the powered transportation connection matrix. In: Geographical Analysis 5 (1973), pp. 61-66.
- 238 Taaffe, E.J.; Gauthier, H.L.: Geography of Transportation. Englewood Cliffs, N.J. 1973.
- 239 Taylor, P.J.: Decay functions. In: Geographical Analysis 3 (1971), pp. 221-238.
- 240 Taylor, P.J.: Distances within shapes: an introduction to a family of finite frequency distributions. In: Geografiska Annaler, Ser. B, 53 (1971), pp. 40-53.
- 241 Taylor, J.P.: Distance decay models in spatial interaction. (Concepts and Techniques in Modern Geography, No. 2). Norwich 1975.
- 242 Tellier, L.-N.; Sankoff, D.: Gravity models and interaction probabilities. In: Journal of Regional Science 15 (1975), pp. 317-322.
- 243 Theil, H.: Economics and Information Theory. (Statistics in mathematical and managerial economics, Vol. 7). Amsterdam 1967.
- 244 Tobler, W.R.: Geographic area and map projections. In: Geographical Review 53 (1963), pp. 59-78.
- 245 Tschanz, M.R.: Luftverkehr in Afrika. Beiträge zur Luftverkehrsgeographie. Diss. Zürich 1976.

- 246 Ullman, E.L.: Geography as spatial interaction. Aus: Hurst, M.E.E.: Transportation Geography. Comments and Readings. New York 1974, pp. 29 - 40.
- 247 Vickerman, R.W.: Accessibility, attraction, and potential: a review of some concepts and their use to determining mobility. In: Environment and Planning 6 (1974), pp. 675-691.
- 248 Voigt, F.: Verkehr. 1. Die Theorie der Verkehrswirtschaft. 2. Die Entwicklung des Verkehrssystems. Berlin 1965.
- 249 Wagon, D.J.; Hawkins, A.F.: The calibration of the distribution model for the SELNEC study. In: Transportation Research 4 (1970), pp. 103-112.
- 250 Wallace, J.: The relationship between freight transport organization and industrial linkage in Britain. In: Inst. of Brit. Geogr., Transactions 62 (1974), pp. 25-43.
- 251 Walsh, J.A.; Webber, M.J.: Information theory: some concepts and measures. In: Environment and Planning A, 9 (1977), pp.395 - 417.
- 252 Webber, M.J.: Elementary entropy maximizing probability distributions: Analysis and Interpretation. In: Economic Geography 52 (1976), pp. 218-227.
- 253 Welzel, F.: Die Elektroindustrie in der Bundesrepublik Deutschland. Eine industriegeographische Monographie. Diss. Köln 1975.
- 254 William, I.: A comparison of some calibration techniques for doubly constrained models with an exponential cost function. In: Transportation Research 10 (1976), pp. 91-104.
- 255 Wilson, A.G.: A statistical theory of spatial distribution models. In: Transportation Research 1 (1967), pp. 253-269.
- 256 Wilson, A.G.: Advances and problems in distribution modelling. In: Transportation Research 4 (1970), pp. 1-18.
- 257 Wilson, A.G.: Entropy in urban and regional modelling. London 1970.
- 258 Wilson, A.G.: Interregional commodity flows: entropy maximizing approaches. In: Geographical Analysis 2 (1970), pp. 255-282.
- 259 Wilson, A.G.: A family of spatial interaction models, and associated developments. In: Environment and Planning 3 (1971), pp. 1-32.
- 260 Witt, W.: Thematische Kartographie. Hannover 1970².
- 261 Yeates, M.H.: An introduction to quantitative analysis in Economic Geography. New York 1968.

- 262 Yuill, R.S.: The standard deviational ellipse. In:
Geografiska Annaler 53 B (1971), pp. 28 - 39.
- 263 Zaryouni, M.R.: A note on the entropy maximization method
in trip distribution. In: Transportation Research 9 (1975),
p. 83.
- 264 ZVEI (Hrsg.): Die Deutsche Elektro-Industrie. Fachnach-
schlagewerk und Bezugsquellenverzeichnis. 5.Ausgabe.
Mindelheim 1968.
- 265 ZVEI (Hrsg.): Elektro-Einkaufsführer 1972. Mindelheim 1972.
- 266 ZVEI (Hrsg.): ZVEI-Mitteilungen. 1970 - 1974. Frankfurt/Main.
- 267 ZVEI (Hrsg.): Die Elektrotechnische Industrie. Statistischer
Bericht 1973. Frankfurt/Main 1974.

Besuchte Lehrveranstaltungen mit besonderem Bezug zum Text:

- Bulthaup, P. : Modelltheorien in der Naturwissenschaft heute.
Philosophisches Proseminar. Ffm, SS 1970.
- Obst, J. : Verkehrsgeographie. Rgbg., WS 1973/74, WS 1976/77.
- Queisser, H.-J.: Einführung in die Physik. Ffm, WS 1967/68,
SS 1968.

MATHEMATISCHER ANHANG

M 1. ZUR RELATIVEN LAGE ALS BESTANDTEIL DER ENTFERNUNGSMATRIX

M 1.1 ASYMMETRIE DER ORDINALEN ENTFERNUNGSMATRIX

Zu zeigen ist die Asymmetrie der ordinalen Entfernungsmatrix, die belegt, daß es unterschiedliche Empfangs-Entfernungsverteilungen in einem abgeschlossenen Untersuchungsgebiet geben muß.

Gegeben seien 3 Punkte A,B,C im \mathbb{R}^2 und die Norm $\| \cdot \|_2$ (euklidische Entfernung).

Vor.: (A,B,C) bildet kein gleichseitiges und kein gleichschenkliges Dreieck.

Beh.: Die i-te Spalte der in (2.2.3) definierten ordinalen Entfernungsmatrix ist keine Permutation der i-ten Zeile.

Beweis: Angenommen, die Behauptung ist falsch. Dann gibt es zwei mögliche ordinale Entfernungsmatrizen:

1.

	-	1	2
2		-	1
1	2		-

2.

	-	2	1
1		-	2
2	1		-

Sei die erste Matrix gültig. Dann folgt

$$\|(A,B)\| < \|(A,C)\| = \|(C,A)\| < \|(C,B)\| = \|(B,C)\| < \|(B,A)\| \quad \text{⚡}$$

Unter Annahme der Gültigkeit der 2. Matrix ergibt sich ähnlich

$$\|(A,C)\| < \|(A,B)\| = \|(B,A)\| < \|(B,C)\| = \|(C,B)\| < \|(C,A)\| \quad \text{⚡}$$


Zur Fortführung des Beweises für n Punkte ($n > 3$), die je 3 der Voraussetzung genügen, verwende man obiges Ergebnis.

M 1.2 ENTFERNUNGSVERTEILUNGEN IN EINEM ABGESCHLOSSENEN UNTERSUCHUNGSGBIET

An einem einfachen Beispiel soll gezeigt werden, wie sich relative Lage und Abgeschlossenheit des Untersuchungsgebietes auf die Entfernungsverteilung eines Punktes auswirken.


Gegeben sei als Untersuchungsgebiet ein Quadrat der Seitenlänge a . In ihm sei eine gleichmäßige (kontinuierliche) Punktdichte vorausgesetzt.

Dann ist die Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktion $H(d)$ der Entfernungen von dem zentralen Punkt gegeben durch



$$H(d) = \begin{cases} 2\pi d & \text{für } 0 \leq d \leq \frac{a}{2} \\ 2(\pi d - 4 \arccos \frac{a}{2d}) & \text{für } \frac{a}{2} \leq d \leq \frac{a}{2} \sqrt{2} \\ 0 & \text{für } \frac{a}{2} \sqrt{2} < d \end{cases}$$

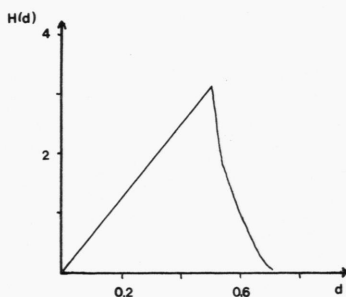
die Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktion eines Eckpunktes



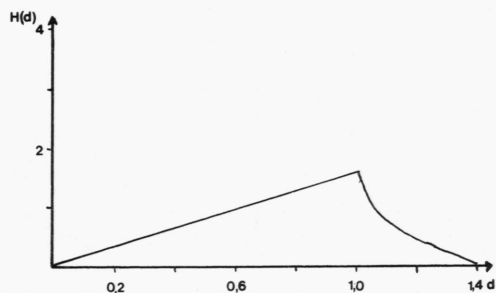
$$H(d) = \begin{cases} \frac{\pi}{2} d & \text{für } 0 \leq d \leq a \\ \frac{\pi}{2} d - 2d \arccos \frac{a}{d} & \text{für } a \leq d \leq a\sqrt{2} \\ 0 & \text{für } a\sqrt{2} \leq d \end{cases}$$

Beispiel: $a = 1$

zentral



randlich




d	0,5	0,55	0,60	0,65	0,70	$\frac{1}{2}\sqrt{2}$	d	1,00	1,10	1,20	1,30	1,40	$\sqrt{2}$
$H(d)$	3,14	1,57	0,96	0,48	0,06	0	$H(d)$	1,57	0,78	0,48	0,24	0,03	0

Man beachte:


- (i) die Flächen unter den beiden Kurven sind gleich;
- (ii) die Wahrscheinlichkeiten für einzelne Entfernungen d sind je nach relativer Lage unterschiedlich, entsprechend die Streuung, das arithmetische Mittel und die Variationsbreite der Gesamtverteilung;
- (iii) der unterschiedliche Abfall für Wahrscheinlichkeiten größerer Entfernung wird durch die relative Lage und die Grenzziehung bewirkt.

Wie ändert sich die Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktion, wenn die Punktdichte nicht mehr als gleichmäßig angenommen wird?

Es sei angenommen, daß jedes infinitesimale Flächenstück innerhalb eines Kreises um den gewählten Bezugspunkt mit Radius $a/4$ die doppelte Wahrscheinlichkeit hat, gewählt zu werden wie ein Flächenstück außerhalb des Kreises.



$$H(d) = \begin{cases} 4\pi d & \text{für } 0 \leq d \leq \frac{a}{4} \\ 2\pi d & \text{für } \frac{a}{4} \leq d \leq \frac{a}{2} \\ 2(\pi d - 4d \arccos \frac{a}{2d}) & \text{für } \frac{a}{2} \leq d \leq \frac{a}{2} \sqrt{2} \\ 0 & \text{für } \frac{a}{2} \sqrt{2} < d \end{cases}$$



$$H(d) = \begin{cases} \frac{\pi}{2} d & \text{für } 0 \leq d \leq \frac{a}{2} (\sqrt{2} - \frac{1}{2}) \\ 2(\frac{\pi}{2} d - 2d \arctan \frac{y}{x}) + 2d \arctan \frac{y}{x} & \text{für } \frac{a}{2} (\sqrt{2} - \frac{1}{2}) \leq d \leq \frac{a}{2} (\sqrt{2} + \frac{1}{2}) \\ \frac{\pi}{2} d & \text{für } \frac{a}{2} (\sqrt{2} + \frac{1}{2}) \leq d \leq a \\ \frac{\pi}{2} d - 2d \arccos \frac{a}{d} & \text{für } a \leq d \leq a \sqrt{2} \\ 0 & \text{für } a \sqrt{2} \leq d \end{cases}$$

y und x sind gegeben durch:

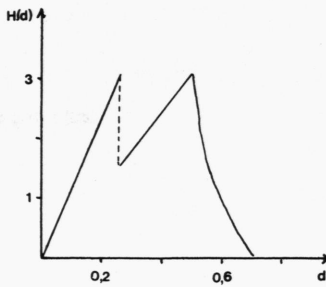
$$y + x = \frac{1}{a} \left(d^2 + \frac{7a^2}{16} \right)$$

$$y^2 + x^2 = d^2$$

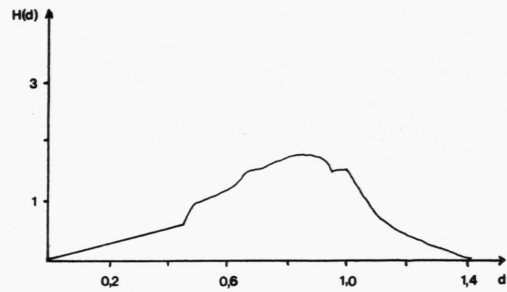
$$\Rightarrow y = \frac{1}{a} \left(d^2 + \frac{7}{16} a^2 \right) - x$$

$$x_{1,2} = \frac{1}{2a} \left(d^2 + \frac{7}{16} a^2 \right) \pm \sqrt{\frac{1}{2} d^2 - \frac{1}{4} \left[\frac{1}{a} \left(d^2 + \frac{7}{16} a^2 \right) \right]^2}$$

zentral



randlich



M 2. EXPONENTIELLE TRANSFORMATION

Gegeben sei ein punktsymmetrisches Punktmuster mit homogener Punktdichte. Gesucht ist eine Transformation dergestalt, daß die Punktdichte von innen nach außen abnimmt.

Eine Lösung stellt die nachfolgend aufgeführte exponentielle Transformation dar.

Bezeichnungen:

(x_m, y_m)	: Mittelpunkt des gegebenen Musters
(x_f, y_f)	: wählbarer Fixpunkt
r_f	: $d((x_m, y_m), (x_f, y_f))$
$(x - x_m)^2 + (y - y_m)^2 = r_f^2$	: Fixkreis
c	: konstanter Transformationsfaktor

Transformation:

Sei (x, y) ein Punkt des vorgegebenen Musters. Dann sind die Koordinaten (x_t, y_t) des transformierten Punktes gegeben durch

$$x_t = (x - x_m) \cdot \frac{r_s}{r} + x_m$$

$$y_t = (y - y_m) \cdot \frac{r_s}{r} + y_m$$

$$\text{mit } r = d((x, y), (x_m, y_m))$$

$$r_s = e^{(r - r_n) \cdot c}$$

$$r_n = r_f - \log(r_f) / c$$

Eine Berechnung des für die Transformation wichtigen Quotienten $\frac{r_s}{r}$ ergibt:

$$\frac{r_s}{r} : = \frac{e^{(r-r_n) \cdot c}}{r} = \frac{e^{rc}}{r} \cdot e^{(-r_f + \frac{1}{c} \log r_f) \cdot c}$$

$$= \frac{\frac{e^{rc}}{r}}{\frac{e^{r_f c}}{r_f}} \\ = \frac{e^{rc}}{e^{r_f c}} \\ = \frac{r_f^c}{r^c}$$

Mit $c \geq 1$ ist $f(x) = \frac{e^{xc}}{x}$ eine streng monoton wachsende Funktion für $0 < x < \infty$. (Anwendung der l'Hospital'schen Regel. Vgl. Grauert, Lieb [97, I, pp.130/131]). Dann folgt

$$\frac{r_s}{r} \begin{cases} < 1, \text{ falls } r < r_f & (\text{der zu transformierende Punkt liegt innerhalb des Fixkreises}) \\ = 1, \text{ falls } r = r_f & (\text{der zu transformierende Punkt liegt auf dem Fixkreis}) \\ > 1, \text{ falls } r > r_f & (\text{der zu transformierende Punkt liegt außerhalb des Fixkreises}) \end{cases}$$

M 3. AUSGLEICHSAKTOREN BZW. RÄUMLICHE KONKURRENZ UND RELATIVE LAGE

M 3.1 RELATIVE LAGE UND VERSANDKONKURRENZ

In (2.3) wird die räumliche Versandkonkurrenz definiert. Hier soll nun versucht werden, den Zusammenhang zwischen relativer Lage und dieser Größe auf Stufe 2 herzustellen.

Die Versandkonkurrenz K_j^v an der Senke j ist gegeben durch

$$K_j^v = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n v_i d_{ij}^{-\alpha}$$

Wegen der auf Stufe 2 angenommenen Gleichverteilung der Aufkommensmengen erhält man folgende Taylor-Entwicklung um die mittlere Empfangs-Entfernung $d_{.j}$ der Senke j :

$$d_{ij}^{-\alpha} = d_{.j}^{-\alpha} + \frac{d_{ij} - d_{.j}}{1!} (-\alpha d_{.j}^{-\alpha-1}) + \frac{(d_{ij} - d_{.j})^2}{2!} (-\alpha)(-\alpha-1) d_{.j}^{-\alpha-2} + R_2^{(i)}$$

$$K_j^v = v \cdot \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n d_{ij}^{-\alpha} = (n-1)v d_{.j}^{-\alpha} + (-\alpha d_{.j}^{-\alpha-1}) \cdot \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n (d_{ij} - d_{.j}) + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n v \cdot$$

$$\cdot \frac{(d_{ij} - d_{.j})^2}{2} (-\alpha)(-\alpha-1) d_{.j}^{-\alpha-2} + v \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n R_2^{(i)}$$

$$\approx v \cdot [(n-1) d_{.j}^{-\alpha} + \frac{n-1}{2} \sigma^2 (d_{.j}) (-\alpha)(-\alpha-1) d_{.j}^{-\alpha-2}]$$

$$\approx (n-1)v [d_{.j}^{-\alpha} + \frac{1}{2} \sigma^2 (d_{.j}) (-\alpha)(-\alpha-1) d_{.j}^{-\alpha-2}]$$

Es zeigt sich, daß die Versandkonkurrenz an der Senke j von der durchschnittlichen Empfangs-Entfernung und der Varianz der Empfangs-entfernungen abhängig ist, die als Argument bzw. Koeffizient der Widerstandsfunktion auftreten. Betrachtet man nur den 1.Term in der eckigen Klammer, so zeigt sich, daß für $\alpha > 0$ die räumliche Versandkonkurrenz mit zunehmender Durchschnitts-Empfangsentfernung (d.h. zunehmender Randlage) abnimmt.

Modifizierend wirkt der 2.Term, bei dem im Zähler die Varianz, im Nenner das Quadrat des Wertes der Entfernungsfunktion an der Stelle d_j steht. Im allgemeinen vermag die vom Zentrum zum Rand wachsende Varianz (vgl. (2.2.1) (i)) das Quadrat im Nenner nicht zu kompensieren, so daß die durch den 1.Term bewirkte Tendenz bestehen bleibt.

Allerdings kann bei stark wechselnder Punktdichte eine erhebliche Beeinflussung dieses Terms erreicht werden, bspw. bei Punkt 3 des Punktmusters 'Süd-VB'. Punkt 3 befindet sich gemäß Durchschnittsentfernung in Randlage bis randnaher Zwischenlage, weist jedoch wegen der nahen Punkte 1,2,6 eine extrem hohe Varianz der Versand-Entfernungen auf, wie sie etwa der "randlichste" Punkt 18 besitzt. Bei Berechnung der Versandkonkurrenz K_3^V erhält man einen Wert, der dem zentraler Senken gleichkommt.

Mit dieser Bemerkung ist der Zusammenhang zwischen räumlicher Konkurrenz und Punktmuster hergestellt. Bei einem Punktmuster mit gleichmäßiger Punktdichte ist die Abfolge von hohen Werten für die räumliche Konkurrenz im Innern zu niedrigen Werten am Rand regelmäßig und in ihren Extremen schwach ausgeprägt. Bei ungleichmäßiger Punktdichte streuen die Werte für Durchschnittsentfernung und Varianz stärker, kommt es zu einer unregelmäßigen Abfolge mit lokalen Maxima und Minima der Konkurrenzwerte, die im übrigen eine größere Spannweite haben können als bei einem vergleichbaren regelmäßigen Punktmuster.

M 3.2 RÄUMLICHE KONKURRENZ UND KOVARIANZ; STUFE 3

Auf Stufe 3 sind variable Aufkommensmengen vorausgesetzt. Damit modifiziert sich der in [*, M 3.1] gegebene Zusammenhang zwischen relativer Lage und Versandkonkurrenz wie folgt:

$$v_i d_{ij}^{-\alpha} = \bar{v} d_{\cdot j}^{-\alpha} + \{ (v_i - \bar{v}) \cdot d_{\cdot j}^{-\alpha} + (d_{ij} - d_{\cdot j}) \cdot \bar{v} (-\alpha) d_{\cdot j}^{-\alpha-1} \} \\ + \frac{1}{2} \{ 2 (v_i - \bar{v}) (d_{ij} - d_{\cdot j}) (-\alpha) d_{\cdot j}^{-\alpha-1} + \bar{v} (d_{ij} - d_{\cdot j})^2 (-\alpha) (-\alpha-1) d_{\cdot j}^{-\alpha-2} \} + \\ + R_2^{(i)}$$

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n v_i d_{ij}^{-\alpha} = (n-1) \bar{v} d_{\cdot j}^{-\alpha} + d_{\cdot j}^{-\alpha} \left(\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n (v_i - \bar{v}) + \bar{v} (-\alpha) d_{\cdot j}^{-\alpha-1} \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n (d_{ij} - d_{\cdot j}) \right) + \\ + (-\alpha) d_{\cdot j}^{-\alpha-1} \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n (v_i - \bar{v}) (d_{ij} - d_{\cdot j}) + \frac{1}{2} \bar{v} \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n (d_{ij} - d_{\cdot j})^2 (-\alpha) \\ (-\alpha-1) d_{\cdot j}^{-\alpha-2} + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n R_2^{(i)}$$

$$\approx (n-1) \{ \bar{v} d_{\cdot j}^{-\alpha} + (-\alpha) d_{\cdot j}^{-\alpha-1} \text{cov}(v, d_{\cdot j}) + \frac{1}{2} \bar{v} \sigma^2(d_{\cdot j}) (-\alpha) (-\alpha-1) d_{\cdot j}^{-\alpha-2} \}$$

Als erste Näherung der räumlichen Versandkonkurrenz an der Senke j kann (vgl. (4.2)) das Produkt aus durchschnittlichem Versandaufkommen der die Senke j ansteuernden Quellen mit der durchschnittlichen Empfangsentfernung der Senke j angesehen werden. Damit ist auch auf Stufe 3 der Einfluß der relativen Lage auf die Versandkonkurrenz sichtbar, bei fehlendem Binnenverkehr modifiziert durch das durchschnittliche Versandaufkommen.

Diese erste Näherung kann durch Hinzufügen von Kovarianz (von lokalem Versandaufkommen und Versandentfernung nach Senke j) sowie der Streuung der Empfangsentfernung der Senke j modifiziert werden. Die Kovarianz ist der einzige Term, in der die räumliche Auf-

kommensvariation ihren Einfluß auf die Versandkonkurrenz geltend machen kann. Dabei gilt:

Variieren Versandaufkommen und Entfernung zur Senke j zufällig miteinander, so ist die Kovarianz 0, die Aufkommensvariation bleibt weitgehend ohne Einfluß auf die Versandkonkurrenz.

Wachsen dagegen mit zunehmender Entfernung von Senke j die Versandaufkommen der Quellen, dann wird die Kovarianz maximal für diese Aufkommensverteilung. Bei einem Exponenten größer 0 wird die aus erster Näherung erhaltene Versandkonkurrenz vermindert, was auch plausibel erscheint, da die potentiell größten Versender sich am entferntesten von Senke j befinden.

Sollten dagegen mit zunehmender Entfernung von Senke j die Versandaufkommen abnehmen, dann wird die Kovarianz minimal; bei einem Exponenten größer 0 vergrößert sie die aus erster Näherung erhaltene Versandkonkurrenz, da nun die größten potentiellen Versender in Nachbarschaft von Senke j anzutreffen sind.

M 3.3 VERÄNDERUNG DER VERSANDKONKURRENZ BEI VERÄNDERUNG DER LOKALEN ENTFERNUNGSFUNKTION; STUFE 4

Angenommen, auf Stufe 4 verändert sich die Entfernungsfunktion der Quelle i , wohingegen jene aller anderen Quellen konstant bleibt. Wie ändert sich dann die Versandkonkurrenz an den Senken, die benachbart von Quelle i bzw. weit entfernt von Quelle i sind? Gibt es Unterschiede, wenn i zentral oder randlich gelegen ist?

Zunächst wird die Versandkonkurrenz in einen sich mit der Entfernungsfunktion von Quelle i verändernden und einen von ihr unabhängigen Teil aufgespalten

$$K_j^v = \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^n A_l V_l d_{lj}^{-\alpha_l} = \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq i, j}}^n A_l V_l d_{lj}^{-\alpha_l} + A_i V_i d_{ij}^{-\alpha_i}$$

konstant variabel

1. Fall: $\alpha_1 = 1,0 \quad \forall 1, 1+i$

$\alpha_i > \alpha_1$ (entspricht der Tendenz zur Marktherrschaft)

(i) Sei j nächstgelegene Senke zur Quelle i.

$$A_i d_{ij}^{-\alpha_i} = \frac{1}{\sum_{k=1}^n \left(\frac{d_{ik}}{d_{ij}} \right)^{-\alpha_i}} > \frac{1}{\sum_{k=1}^n \left(\frac{d_{ik}}{d_{ij}} \right)^{-1,0}} \Rightarrow K_j^{v(\text{neu})} > K_j^{v(\text{alt})}$$

$\frac{d_{ik}}{d_{ij}} \geq 1 \forall k$

(ii) Sei j entferntest gelegene Senke zu Quelle i

$$A_i d_{ij}^{-\alpha_i} = \frac{1}{\sum_{k=1}^n \left(\frac{d_{ik}}{d_{ij}} \right)^{-\alpha_i}} < \frac{1}{\sum_{k=1}^n \left(\frac{d_{ik}}{d_{ij}} \right)^{-1,0}} \Rightarrow K_j^{v(\text{neu})} < K_j^{v(\text{alt})}$$

$\frac{d_{ik}}{d_{ij}} \leq 1 \forall k$

Ist das Ausmaß der Veränderung abhängig von der relativen Lage der Quelle i?

Hierzu sei das regelmäßige Hexagonalmuster unterstellt, wobei i einmal randlich und einmal zentral gelegen angenommen wird. Dies macht sich dadurch bemerkbar, daß für alle Quellen die Entfernung zur nächsten Senke gleich ist, nicht jedoch jene zur weitest entfernten Senke. Denkt man sich alle Entfernungen von der Quelle i aufsteigend geordnet, so gilt:

$$\left(\frac{d_{ik}}{d_{ij}} \right)_{i \text{ randlich}} \geq \left(\frac{d_{ik}}{d_{ij}} \right)_{i \text{ zentral}} \quad \text{mit } d_{ij}: \text{Entfernung zum nächsten Nachbarn}$$

$$\Rightarrow \left(\frac{d_{ij}}{d_{ij}} \right)^{-(\alpha_i-1,0)} \leq \left(\frac{d_{ik}}{d_{ij}} \right)^{-(\alpha_i-1,0)} \quad \text{d.h. Veränderung randlich übertrifft Veränderung zentral}$$

2.Fall: $\alpha_1 = 1,0 \forall 1,1 \neq i$

$\alpha_i < \alpha_1$ (entspricht der Tendenz zur Gleichverteilung bzw. Spezialisierung)

(i) Sei j nächstgelegene Senke zu Quelle i

$$A_i d_{ij}^{-\alpha_i} = \frac{1}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n \left(\frac{d_{ik}}{d_{ij}} \right)^{-\alpha_i}} < \frac{1}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n \left(\frac{d_{ik}}{d_{ij}} \right)^{-1,0}} \Rightarrow K_j^{v(\text{neu})} < K_j^{v(\text{alt})}$$

$\frac{d_{ik}}{d_{ij}} > 1 \forall k$

(ii) Sei j entferntest gelegene Senke zu Quelle i

$$A_i d_{ij}^{-\alpha_i} = \frac{1}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n \left(\frac{d_{ik}}{d_{ij}} \right)^{-\alpha_i}} > \frac{1}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n \left(\frac{d_{ik}}{d_{ij}} \right)^{-1,0}} \Rightarrow K_j^{v(\text{neu})} > K_j^{v(\text{alt})}$$

$\frac{d_{ik}}{d_{ij}} < 1 \forall k$

M 3.4 GRENZENTFERNUNG, INNERHALB DER B-WERTE VERGlichen MIT STUFE 2 (k = 5,11) VON ZUNAHME NACH ABNAHME UMSCHLAGEN, WENN QUELLE 5 DIE VERTEILUNGSTYPEN k = 5,11,17 DURCHLÄUFT; STUFE 4

Es wird behauptet, daß für Quelle 5 die Grenzentfernung des Umschlagens der B-Werte von Zunahme nach Abnahme wächst, falls die lokalen Verteilungstypen k = 5,11,17 angenommen werden.

Vor.: $V = E = \text{const.}$

$$B_j^{-1} = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n A_i V_i d_{ij}^{-\alpha_i} \quad \alpha_5^{(5)} > \alpha_5^{(11)} > \alpha_5^{(17)}; \quad \alpha_i = 1,0 \quad i \neq 5$$

$$A_i = \frac{1}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n E_k d_{ik}^{-\alpha_i}} \quad A_5^{(5)} > A_5^{(11)} > A_5^{(17)}; \quad \text{alle übrigen } A_k, \quad k \neq 5 \text{ bleiben konstant.}$$

Gesucht: Entfernung d_{5j} , für die gilt:

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n A_i V_i d_{ij}^{-\alpha_i^{(5)}} - \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n A_i V_i d_{ij}^{-\alpha_i^{(11)}} = 0$$

$$A_5^{(5)} d_{5j}^{-\alpha_5^{(5)}} - A_5^{(11)} d_{5j}^{-\alpha_5^{(11)}} = 0$$

$$\frac{d_{5j}^{-\alpha_5^{(5)}}}{d_{5j}^{-\alpha_5^{(11)}}} = \frac{A_5^{(11)}}{A_5^{(5)}}$$

$$\log d_{5j}^{(11)} = \frac{1}{-(\alpha_5^{(5)} - \alpha_5^{(11)})} \cdot \log \left(\frac{A_5^{(11)}}{A_5^{(5)}} \right)$$

analog:

$$\log d_{5j'}^{(17)} = \frac{1}{-(\alpha_5^{(5)} - \alpha_5^{(17)})} \cdot \log \left(\frac{A_5^{(17)}}{A_5^{(5)}} \right)$$

$$\Rightarrow \log d_{5j'}^{(17)} - \log d_{5j}^{(11)} = \log \frac{d_{5j'}^{(17)}}{d_{5j}^{(11)}} = \frac{1}{-(\alpha_5^{(5)} - \alpha_5^{(11)})} \log \left(\frac{A_5^{(11)}}{A_5^{(5)}} \right) - \frac{1}{-(\alpha_5^{(5)} - \alpha_5^{(17)})} \cdot \log \left(\frac{A_5^{(17)}}{A_5^{(5)}} \right)$$

$$\log \left(\frac{A_5^{(11)}}{A_5^{(5)}} \right) < \log \left(\frac{A_5^{(17)}}{A_5^{(5)}} \right)$$

$$\Rightarrow \log \left(\frac{d_{5j'}^{(17)}}{d_{5j}^{(11)}} \right) > 0$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{d_{5j'}^{(17)} > d_{5j}^{(11)}}}$$

M 4. ZUR DEFINITION DER PRÄFERENZEN

M 4.1 ABSCHÄTZUNG DER ENTROPIE DER VERKEHRSSTROMMATRIX AUF STUFE 1

Um zu zeigen, daß die in (2.1) definierte rauminvariante Bezugsbasis der Entropie-Maximierungshypothese unterliegt, wird folgende Abschätzung der Entropie einer Verkehrsstrommatrix angegeben, deren Beweis bspw. in Theil [243, p.34/35] nachgesehen werden kann.

Seien die Zufallsvariablen V und E gegeben. Es bezeichne weiter

p_{ij} = Wahrscheinlichkeit der Interaktion zwischen i und j

$$p_{i\cdot} = \sum_{j=1}^n p_{ij}$$

$$p_{\cdot j} = \sum_{i=1}^n p_{ij}$$

$H(V, E)$ = Entropie der Interaktionsmatrix

$$H(V) = - \sum_{i=1}^n p_{i\cdot} \log_2 p_{i\cdot} \quad \text{Entropie der Verteilung von V}$$

$$H(E) = - \sum_{j=1}^n p_{\cdot j} \log_2 p_{\cdot j} \quad \text{Entropie der Verteilung von E}$$

Bemerkung: Auf Stufe 1 ergibt sich

$$p_{ij} \text{ zu } \frac{V_i E_j}{T^2}$$

$$p_{i\cdot} \text{ zu } \frac{V_i}{T}$$

$$p_{\cdot j} \text{ zu } \frac{E_j}{T}$$

Beh.: (i) $H(V, E) \leq H(V) + H(E)$

(ii) $H(V, E) = H(V) + H(E) \iff V \text{ und } E \text{ sind im w-theoretischen Sinn unabhängig}$

Aus diesem Satz folgt, daß die (relative) Entropie der rauminvarianten Bezugsbasis diejenige aller anderen denkbaren Verkehrstrommatrizen mit gleichen Zeilen- und Spaltensummen übertrifft. Weiter wird für die lokale Entropie der Verkehrsverteilung der Quellen bzw. Senken auf Stufe 1 folgendes behauptet:

Beh.: Auf Stufe 1 ist

- (i) die Entropie der Versandverteilung jeder Quelle gleich der Entropie $H(E)$ der Empfangsmengenverteilung
- (ii) die Entropie der Empfangsverteilung jeder Senke gleich der Entropie $H(V)$ der Versandmengenverteilung

Beweis: ad (i)

$$\begin{aligned}
 H(E) &= - \sum_{j=1}^n p_{\cdot j} \log_2 p_{\cdot j} = - \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^n p_{ij} \right) \log_2 \left(\sum_{i=1}^n p_{ij} \right) \\
 &\stackrel{\text{Stufe 1}}{=} - \sum_{j=1}^n \left(\sum_{i=1}^n \frac{V_i E_j}{T \cdot T} \right) \cdot \log_2 \left(\sum_{i=1}^n \frac{V_i E_j}{T \cdot T} \right) \\
 &= - \sum_{j=1}^n \frac{E_j}{T^2} \left(\sum_{i=1}^n V_i \right) \log_2 \left[\frac{E_j}{T^2} \left(\sum_{i=1}^n V_i \right) \right] \\
 &= - \sum_{j=1}^n \frac{E_j}{T} \log_2 \frac{E_j}{T}
 \end{aligned}$$

Der Beweis von (ii) folgt analog.

M 4.2 DEFINITION UND EIGENSCHAFTEN DER PRÄFERENZMATRIX

In [*, M 4.1] wurde gezeigt, daß die auf Stufe 1 gewonnene VSM maximale Entropie hat. Dann erscheint sie als Bezugsbasis aller auf höheren Stufen berechneten VSM geeignet.

Definition: Sei $(T_{ij})_n$ eine VSM, $(F_{ij})_n$ die zugehörige VSM auf Stufe 1. Dann wird die zugehörige Präferenzmatrix $(G_{ij})_n$ definiert durch

$$g_{ij} := \frac{t_{ij}}{f_{ij}} \quad \forall (i,j), \quad i \neq j; \quad (i,j) \in [n] \times [n]$$

$$g_{ij} := 0 \quad \forall i, i=1, \dots, n$$

Falls $(T_{ij})_n$ mit dem Konkurrenzmodell der Stufen 2 bis 5 berechnet ist, erhält man

$$g_{ij} \approx \frac{A_i B_j V_i E_j d_{ij}^{-\alpha}}{\frac{V_i E_j}{T}} \quad \begin{array}{l} \text{(Näherung deshalb, weil } T_{ij} \\ \text{bei Nichtberücksichtigung des Binnenverkehrs} \\ \text{nur angenähert die angegebene Form besitzt.)} \end{array}$$

$$\approx \frac{1}{T} A_i B_j d_{ij}^{-\alpha}$$

Die Zeilen- und Spaltensummen der Präferenzmatrix ergeben sich zu

$$\sum_{j=1}^n g_{ij} = \frac{1}{T} A_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n B_j d_{ij}^{-\alpha} \quad \begin{array}{l} \text{(Potential der Versandkonkurrenzausgleichsfaktoren der} \\ \text{Quelle } i) \end{array}$$

$$\sum_{i=1}^n g_{ij} = \frac{1}{T} B_j \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^n A_i d_{ij}^{-\alpha} \quad \begin{array}{l} \text{(Potential der Empfangskonkurrenzausgleichsfaktoren der} \\ \text{Senke } j) \end{array}$$

Letztlich stellt sich die Frage, warum zur Definition der Präferenzmatrix kein Ansatz der Form $(T_{ij})_n = (F_{ij})_n \cdot (G_{ij})_n$ herangezogen wurde. Die entsprechende Lösung existiert für $n > 1$ nicht, denn $(F_{ij})_n$ hat Rang 1.

M 5. ZUR RÄUMLICHEN VARIATION DER ENTROPIE DER VERKEHRS- VERTEILUNG VON QUELLEN

M 5.1 ZUSAMMENHANG VON RELATIVER LAGE UND (RELATIVER) ENTROPIE DER VERSANDVERTEILUNG VON QUELLEN UNTER ANNAHME DES EIN- FACHEN GRAVITATIONSMODELLS MIT ZEILENAUSGLEICH

Die angenommene Verkehrsverteilung (vgl. (2.2.2), Beziehung (16))
ist gegeben durch

$$T_{ij} = A_i V_i E_j d_{ij}^{-\alpha} \quad \text{mit } V_i = V$$

$$E_i = E$$

$$A_i = \frac{1}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n E_k d_{ik}^{-\alpha}}$$

Dann erhält man für die relative Versandentropie ξ_i^V der i-ten
Quelle:

$$\begin{aligned} \xi_i^V &= - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{T_{ij}}{V_i} \log_2 \frac{T_{ij}}{V_i} = - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{A_i V_i E_j d_{ij}^{-\alpha}}{V_i} \log_2 \frac{A_i V_i E_j d_{ij}^{-\alpha}}{V_i} \\ &= - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n A_i E_j d_{ij}^{-\alpha} \log_2 A_i E_j d_{ij}^{-\alpha} \quad \Bigg/ \quad = - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n c d_{ij}^{-\alpha} \log_2 c d_{ij}^{-\alpha} \\ &\quad A_i E_j = c \quad \forall j \end{aligned}$$

Zeige:

$$c = A_i E_j = \frac{E_j}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n E_k d_{ik}^{-\alpha}} \quad \Bigg/ \quad = \frac{1}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n d_{ik}^{-\alpha}}$$

$$E_j = E \quad V_i = V$$

nicht von j abhängig
und i bleibt während
der Summation kon-
stant

Damit ergibt sich:

$$\xi_i^V = - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{d_{ij}^{-\alpha}}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n d_{ik}^{-\alpha}} \log_2 \frac{d_{ij}^{-\alpha}}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n d_{ik}^{-\alpha}}$$

Dieser Ausdruck läßt sich mit Hilfe der Taylor-Entwicklung wie folgt annähern:

$$\xi_i^V = - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n c d_{ij}^{-\alpha} \log_2 (c d_{ij}^{-\alpha}) \sim - (n-1) \cdot c d_{i\cdot}^{-\alpha} \log_2 c d_{i\cdot}^{-\alpha}, \quad \text{denn}$$

$$\log_2 \left(c d_{ij}^{-\alpha} \right)^{c d_{ij}^{-\alpha}} = \log_2 \left(c d_{i\cdot}^{-\alpha} \right)^{c d_{i\cdot}^{-\alpha}} + (d_{ij} - d_{i\cdot}) \cdot c (-\alpha) d_{i\cdot}^{-\alpha-1} (\log_2 c d_{i\cdot}^{-\alpha} + 1) + R_1^{(j)}$$

$$\Rightarrow - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \log_2 \left(c d_{ij}^{-\alpha} \right)^{c d_{ij}^{-\alpha}} \approx - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \log_2 \left(c d_{i\cdot}^{-\alpha} \right)^{c d_{i\cdot}^{-\alpha}} + 0 + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n R_1^{(j)}$$

$$\approx - (n-1) c d_{i\cdot}^{-\alpha} \log_2 (c d_{i\cdot}^{-\alpha}),$$

$d_{i\cdot}$: durchschnittliche Versandentfernung der Quelle i .

Somit ergibt sich: mit wachsender Durchschnittsentfernung fällt für $\alpha > 0$ der Term $c \cdot d_{i\cdot}^{-\alpha}$ monoton, ebenso $\log_2 (c \cdot d_{i\cdot}^{-\alpha})$.
Dann erhält man:

$$d_{i\cdot} \nearrow \Rightarrow \xi_i^V \nearrow$$

Ergänzende Bemerkung.

Warum steigt die Versand-Entropie bei Zeilenausgleich vom Zentrum zum Rand an, bei Spaltenausgleich hingegen vom Rand zum Zentrum?

Beide Male werden die Versandverteilungen untersucht. Diese werden durch Zeilenausgleich nur normiert, nicht geändert. Die allgemeine Form der Entfernungsfunktion begünstigt Interaktionen über kürzeste Entfernungen, die vor allem zwischen zentral gelegenen Punkten auftreten, welche zudem die kürzesten Durchschnittsentfernungen aufweisen.

Bei Einführung der B werden aber gerade diese starken Interaktionen beschnitten, da für zentrale Senken B sehr niedrig, für randliche

sehr hoch ausfällt. So erhöht sich die Versandentropie der Zentren, diejenige der Ränder erniedrigt sich.

M 5.2 RÄUMLICHE VERTEILUNG DER VERSANDENTROPIE BEI ORDINALER ENTFERNUNGSMATRIX; STUFE 2

Vor.: Bei Berechnung der VSM mit Hilfe des einfachen Gravitationsmodells mit Zeilenausgleich auf Stufe 2 wird eine ordinale Entfernungsmatrix zugrunde gelegt.

Beh.: Die Versandentropie ξ^V ist für alle Quellen gleich.

Beweis:

$$\begin{aligned}
 \xi_i^V &= - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{A_i V_i E_j d_{ij}^{-\alpha}}{V_i} \log_2 \frac{A_i V_i E_j d_{ij}^{-\alpha}}{V_i} \\
 &= - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n A_i E_j d_{ij}^{-\alpha} \log_2 (A_i E_j d_{ij}^{-\alpha}) \\
 &= - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n c d_{ij}^{-\alpha} \log_2 (c d_{ij}^{-\alpha}) = - \sum_{k=1}^{n-1} c k^{-\alpha} \log_2 (c k^{-\alpha}) \\
 &\quad \left| \begin{array}{c} A_i E_j = c \\ \text{ordinale} \\ \text{EM} \end{array} \right.
 \end{aligned}$$

Zeige: $A_i E_j = c$.

$$\begin{aligned}
 A_i E_j &= \frac{E_j}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n E_k d_{ik}^{-\alpha}} = \frac{E}{E \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n d_{ik}^{-\alpha}} = \frac{1}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n d_{ik}^{-\alpha}} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{n-1} k^{-\alpha}} = c \\
 &\quad \left| \begin{array}{c} \text{Stufe 2} \\ \text{ordinale} \\ \text{EM} \end{array} \right.
 \end{aligned}$$

M 5.3 ABHÄNGIGKEIT DER ENTROPIEVERÄNDERUNG VON RELATIVER LAGE
BEI VERÄNDERUNG EINER EINZELNEN AUFKOMMENSMENGE; STUFE 3

Annahme:
$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n T_{ij} = V_i$$

$$\Rightarrow \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n T_{ij} = A_i V_i \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n B_j E_j d_{ij}^{-\alpha} = V_i$$

$$\Rightarrow \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n B_j E_j d_{ij}^{-\alpha} = \frac{1}{A_i}$$

Mit Hilfe dieser Beziehung ergibt sich die Entropie der modellhaft berechneten Versandverteilung der Quelle i, ξ_i^V , zu:

$$\begin{aligned} \xi_i^V &= - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{T_{ij}}{V_i} \log_2 \left(\frac{T_{ij}}{V_i} \right) = - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{A_i B_j V_i E_j d_{ij}^{-\alpha}}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n A_i B_k V_i E_k d_{ik}^{-\alpha}} \log_2 \left(\frac{A_i B_j V_i E_j d_{ij}^{-\alpha}}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n A_i B_k V_i E_k d_{ik}^{-\alpha}} \right) \\ &= - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \frac{B_j E_j d_{ij}^{-\alpha}}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n B_k E_k d_{ik}^{-\alpha}} \log_2 \left(\frac{B_j E_j d_{ij}^{-\alpha}}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n B_k E_k d_{ik}^{-\alpha}} \right) = - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n A_i B_j E_j d_{ij}^{-\alpha} \cdot \log_2 (A_i B_j E_j d_{ij}^{-\alpha}) \end{aligned}$$

Wie hängen nun die Ausgleichsfaktoren von dem Versandaufkommen der i-ten Quelle ab?

$$A_i = \frac{1}{\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n E_j d_{ij}^{-\alpha}}, \quad B_j = \frac{1}{\sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^n A_l V_l d_{lj}^{-\alpha}}$$

A_i ist von V_i unabhängig

B_j ist eine Funktion von V_i .

$$\frac{\partial B_j}{\partial V_i} = \begin{cases} 0 & i=j \\ -\left(\sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^n A_l V_l d_{lj}^{-\alpha} \right)^{-2} A_i d_{ij}^{-\alpha} = -B_j^2 A_i d_{ij}^{-\alpha} & i \neq j \end{cases}$$

$$\frac{\partial^2 B_j}{(\partial V_i)^2} = A_i d_{ij}^{-\alpha} (-2 B_j) (-B_j^2 A_i d_{ij}^{-\alpha}) = 2 B_j^3 A_i^2 d_{ij}^{-2\alpha} \quad i \neq j$$

Damit ergibt sich für die Abhängigkeit der Entropie der Versandverteilung von Quelle i von V_i :

$$\begin{aligned} \frac{\partial \xi_i^V}{\partial V_i} &= - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \left[\left(\log_2 (A_i B_j E_j d_{ij}^{-\alpha}) \cdot A_i E_j d_{ij}^{-\alpha} \cdot (-B_j^2 A_i d_{ij}^{-\alpha}) + \frac{A_i B_j E_j d_{ij}^{-\alpha}}{A_i B_j E_j d_{ij}^{-\alpha}} \frac{1}{\log 2} \right) \right. \\ &\quad \left. \cdot A_i E_j d_{ij}^{-\alpha} (-B_j^2 A_i d_{ij}^{-\alpha}) \right] \\ &= \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \left(A_i B_j d_{ij}^{-\alpha} \right)^2 E_j \left[\log_2 (A_i B_j E_j d_{ij}^{-\alpha}) + \frac{1}{\log 2} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 \xi_i^V}{(\partial V_i)^2} &= \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \left[\log_2 (A_i B_j E_j d_{ij}^{-\alpha}) + \frac{1}{\log 2} \right] \cdot 2 A_i B_j d_{ij}^{-\alpha} E_j (-B_j^2 A_i d_{ij}^{-2\alpha}) + \\ &\quad + \left(A_i B_j d_{ij}^{-\alpha} \right)^2 E_j \left(\frac{1}{A_i B_j d_{ij}^{-\alpha}} \right)^2 E_j \frac{1}{A_i B_j E_j d_{ij}^{-\alpha}} \frac{1}{\log 2} A_i E_j d_{ij}^{-\alpha} (-B_j^2 A_i d_{ij}^{-\alpha}) \\ &= - \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n 2 \left(A_i B_j d_{ij}^{-\alpha} \right)^3 E_j \left[\log_2 (A_i B_j E_j d_{ij}^{-\alpha}) + \frac{1}{\log 2} \right] \end{aligned}$$

Sei V_i^* das erhöhte Versandaufkommen der i -ten Quelle. (Alle übrigen Quellen und alle Senken haben Aufkommen wie auf Stufe 2.) Da mit Erhöhung von V_i auch die Empfangsmengen E gleichmäßig erhöht werden müssen, was der Abgeschlossenheit des Systems entspricht, würden diese Schritte Veränderungen der A, B nach sich ziehen. Es kann aber gezeigt werden, daß das Produkt $A_i \cdot B_j$ unabhängig von Veränderungen von E ist, falls $E = \text{konst.}$ im Gesamtgebiet vor und nach der Veränderung.

Dann folgt:

$$\begin{aligned} \xi_i^{V^*} = \xi_i^V &+ \frac{(V_i^* - V_i)}{1!} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \left(A_i B_j d_{ij}^{-\alpha} \right)^2 E_j \left[\log_2 \left(A_i B_j E_j d_{ij}^{-\alpha} \right) + \frac{1}{\log 2} \right] + \\ &- \frac{(V_i^* - V_i)^2}{2!} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n 2 \left(A_i B_j d_{ij}^{-\alpha} \right)^3 E_j \left[\log_2 \left(A_i B_j E_j d_{ij}^{-\alpha} \right) + \frac{1}{\log 2} \right] + \\ &+ R_2^{(i)} \end{aligned}$$

Für den Fall $V_i^* > V_i$ wird durch den 2. Term die Entropie erniedrigt, durch den 3. Term erhöht.

M 6. BERECHNUNGSGRUNDLAGEN UND BEMERKUNGEN ZU VERSCHIEDENEN STUFEN

M 6.1 ABHÄNGIGKEIT DES EXPONENTEN EINES EINFACHEN ENTROPIE-MAXIMIERUNGSMODELLS OHNE NEBENBEDINGUNGEN (1),(2) VON GRÖSSEN DES GESAMTSYSTEMS

Um die Abhängigkeit des Exponenten der Entfernungsfunktion von Größen des Gesamtsystems an einem einfachen Beispiel aufzuzeigen, sind die nachfolgenden Ausführungen angeführt, die eine Übertragung der Ableitung von Nash ([176, pp.1-40], vor allem p. 27) beinhalten.

Gegeben seien T : Gesamtverkehrsmenge
 C : Aufwand im System ($C = \sum_{i,j} T_{ij} d_{ij}$)
 (d) : Entfernungsmatrix

Die lokalen Aufkommensmengen sind unbekannt.

Gesucht ist die Verkehrsmenge T_{ij} , welche unter der Entropie-Maximierungshypothese über die Entfernung d_{ij} befördert wird, falls die Nebenbedingung

$$C = \sum_{i,j=1}^n T_{ij} d_{ij}$$

eingehalten wird.

Man erhält:

$$T_{ij} = \frac{T}{\sum_{l,k=1}^n e^{-\alpha d_{lk}}} e^{-\alpha d_{ij}}$$

Wovon ist α abhängig?

Definiert man $\bar{\epsilon} = \frac{C}{T}$, so ist $\bar{\epsilon}$ die mit den Verkehrsmengen T_{ij} gewichtete Durchschnittsentfernung im Gesamtsystem. Es ergibt sich folgender Zusammenhang:

$$e^{\alpha} = 1 + \frac{1}{\varepsilon} \quad (\text{Nash [176]; vgl. Beziehung (f) auf S. 27). \\ \text{oder} \quad \alpha = \log \left(1 + \frac{1}{\varepsilon} \right)$$

M 6.2 ANWENDUNGSFALL AUF STUFE 3: ERMITTLUNG DES EXPONENTEN DER ENTFERNUNGSFUNKTION FÜR DEN GESAMTRAUM

Es ist darauf hinzuweisen, daß bei Formulierung der Zielfunktion die Einzelelemente der vorgegebenen und zu approximierenden VSM (V) als bekannt vorausgesetzt werden.

$$\text{Zielfunktion: } ZF = \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (V_i E_j A_i B_j d_{ij}^{-\alpha} - V_{ij})^2 = \min$$

$$A_i = \frac{1}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n E_k d_{ik}^{-\alpha}}$$

$$B_j = \frac{1}{\sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^n \frac{V_l d_{lj}^{-\alpha}}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq l}}^n E_k d_{lk}^{-\alpha}}}$$

Zur Bestimmung von α soll das Newton'sche Verfahren zur Nullstellenberechnung herangezogen werden. Hierzu ist es nötig, die 1. Ableitung der Zielfunktion zu bilden, wobei o.B.d.A. $-\alpha$ durch α ersetzt ist.

$$\frac{\partial A_i}{\partial \alpha} = \left(\frac{1}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n E_k d_{ik}^{\alpha}} \right)^2 \cdot \left(- \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n E_k d_{ik}^{\alpha} \log d_{ik} \right) = - A_i^2 \cdot \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n E_k d_{ik}^{\alpha} \log d_{ik}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial B_j}{\partial \alpha} &= -B_j^2 \cdot \sum_{l=1}^n \sum_{l \neq j} \left[\left(\sum_{k=1}^n E_k d_{lk}^\alpha \right) v_l d_{lj}^\alpha \log d_{lj} - v_l d_{lj}^\alpha \cdot \sum_{k=1}^n E_k d_{lk}^\alpha \log d_{lk} \right] A_l^2 \\ &= -B_j^2 \sum_{l=1}^n \sum_{l \neq j} A_l^2 v_l d_{lj}^\alpha \cdot \left(\sum_{k=1}^n E_k d_{lk}^\alpha \right) \log d_{lj} - \sum_{k=1}^n E_k d_{lk}^\alpha \log d_{lk} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \alpha} ZF &= 2 \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \left(v_i E_j A_i B_j d_{ij}^\alpha - v_{ij} \right) \cdot v_i E_j \left(\left(\frac{\partial}{\partial \alpha} A_i \right) B_j d_{ij}^\alpha + \left(\frac{\partial}{\partial \alpha} B_j \right) A_i d_{ij}^\alpha + \right. \\ &\quad \left. + \left(\frac{\partial}{\partial \alpha} d_{ij}^\alpha \right) A_i B_j \right) \\ &= 2 \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \left(v_i E_j A_i B_j d_{ij}^\alpha - v_{ij} \right) v_i E_j \left[-A_i^2 \left(\sum_{k=1}^n E_k d_{ik}^\alpha \log d_{ik} \right) \cdot B_j d_{ij}^\alpha \right. \\ &\quad \left. - B_j^2 A_i d_{ij}^\alpha \left(\sum_{l=1}^n v_l d_{lj}^\alpha A_l^2 \left(\left(\sum_{k=1}^n E_k d_{lk}^\alpha \right) \log d_{lj} - \sum_{k=1}^n E_k d_{lk}^\alpha \log d_{lk} \right) \right) + \right. \\ &\quad \left. + \log d_{ij} \cdot d_{ij}^\alpha A_i B_j \right] \\ &= 2 \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \left(v_i E_j A_i B_j d_{ij}^\alpha - v_{ij} \right) \cdot v_i E_j A_i B_j d_{ij}^\alpha \cdot \\ &\quad \cdot \left[-A_i \left(\sum_{k=1}^n E_k d_{ik}^\alpha \log d_{ik} \right) - B_j \left(\sum_{l=1}^n v_l d_{lj}^\alpha A_l^2 \left(\sum_{k=1}^n E_k d_{lk}^\alpha \right) \cdot \right. \right. \\ &\quad \left. \left. \cdot d_{lj} - \sum_{k=1}^n E_k d_{lk}^\alpha \log d_{lk} \right) + \log d_{ij} \right] \end{aligned}$$

Im vorliegenden Fall ist die Nullstelle der Funktion $ZF'(\alpha)$ mit Hilfe der Beziehung (iteratives Verfahren!)

$$g(\alpha) = \alpha - \frac{ZF'(\alpha)}{ZF''(\alpha)}$$

zu ermitteln, wobei als hinreichende Bedingung für die Konvergenz

$$|ZF''(\alpha)| \geq m > 0, \quad |ZF'''(\alpha)| \leq M, \quad m, M \in \mathbb{R}^+$$

erfüllt sein muß.

Um die benötigte 2. Ableitung der Zielfunktion übersichtlich zu gestalten, werden zunächst Abkürzungen eingeführt, bevor die eigentliche Berechnung begonnen wird.

$$u := (V_{ij} E_i A_j B_j d_{ij}^\alpha - V_{ij}) \cdot V_{ij} E_i A_j B_j d_{ij}^\alpha$$

$$v := \left[-A_i \left(\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n E_k d_{ik}^\alpha \log d_{ik} \right) - B_j \left(\sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^n V_l A_l^2 d_{lj}^\alpha \left(\left(\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq l}}^n E_k d_{lk}^\alpha \right) \log d_{lj} - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq l}}^n E_k d_{lk}^\alpha \cdot \log d_{lk} \right) \right) + \log d_{ij} \right]$$

$$\frac{\partial^2 ZF}{(\partial \alpha)^2} = \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \left[[v] \cdot u' + u \cdot [v]' \right]$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial \alpha} &= V_{ij} E_i A_j B_j d_{ij}^\alpha \cdot V_{ij} E_i A_j B_j d_{ij}^\alpha \cdot [v] + (V_{ij} E_i A_j B_j d_{ij}^\alpha - V_{ij}) \cdot V_{ij} E_i A_j B_j d_{ij}^\alpha [v] \\ &= V_{ij} E_i A_j B_j d_{ij}^\alpha \cdot [v] \cdot [2 V_{ij} E_i A_j B_j d_{ij}^\alpha - V_{ij}] \end{aligned}$$

$$v := v_1 + v_{21} \cdot v_{22} + v_3$$

$$v_1 := -A_i \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n E_k d_{ik}^\alpha \log d_{ik}$$

$$v_{21} := -B_j$$

$$v_{22} := \sum_{l=1}^n v_{1l} d_{lj}^\alpha A_l^2 \left(\log d_{lj} \cdot \sum_{k=1, k \neq l}^n E_k d_{lk}^\alpha - \sum_{k=1, k \neq l}^n E_k d_{lk}^\alpha \cdot \log d_{lk} \right)$$

$$v_3 := \log d_{ij}$$

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} v = \frac{\partial}{\partial \alpha} v_1 + \frac{\partial}{\partial \alpha} (v_{21} \cdot v_{22}) + \frac{\partial}{\partial \alpha} v_3$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \alpha} v_1 &= \left(\sum_{k=1, k \neq i}^n E_k d_{ik}^\alpha \cdot \log d_{ik} \right) A_i^2 \cdot \sum_{k=1, k \neq i}^n E_k d_{ik}^\alpha \log d_{ik} - A_i \cdot \sum_{k=1, k \neq i}^n E_k d_{ik}^\alpha (\log d_{ik})^2 \\ &= A_i \left(A_i \left(\sum_{k=1, k \neq i}^n E_k d_{ik} \log d_{ik} \right)^2 - \sum_{k=1, k \neq i}^n E_k d_{ik}^\alpha (\log d_{ik})^2 \right) \end{aligned}$$

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} v_3 = 0$$

$$\frac{\partial}{\partial \alpha} v_{21} = B_j^2 \sum_{l=1, l \neq j}^n v_{1l} d_{lj}^\alpha \left(\log d_{lj} \sum_{k=1, k \neq l}^n E_k d_{lk}^\alpha - \sum_{k=1, k \neq j}^n E_k d_{lk}^\alpha \log d_{lk} \right)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \alpha} v_{22} &= \sum_{l=1}^n \left(\left(\sum_{k=1, k \neq l}^n E_k d_{lk}^\alpha \right) \log d_{lj} - \sum_{k=1, k \neq l}^n E_k d_{lk}^\alpha \log d_{lk} \right) \cdot v_l \cdot \\ &\quad \cdot \left[-2 A_l^3 d_{lj}^\alpha \sum_{k=1, k \neq l}^n E_k d_{lk}^\alpha \cdot \log d_{lk} + A_l^2 d_{lj}^\alpha \cdot \log d_{lj} \right] + \\ &\quad + v_{1l} d_{lj}^\alpha A_l^2 \left[\log d_{lj} \sum_{k=1, k \neq l}^n E_k d_{lk}^\alpha (\log d_{lk}) - \sum_{k=1, k \neq l}^n E_k d_{lk}^\alpha (\log d_{lk})^2 \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
= & \sum_{l=1}^n \sum_{l \neq j} v_l d_{lj}^\alpha \cdot A_l^2 \left[\left[-2 A_l \sum_{k=1}^n E_k d_{lk}^\alpha \cdot \log d_{lk} + \log d_{lj} \right] \cdot \right. \\
& \left(\sum_{k=1}^n E_k d_{lk}^\alpha \cdot \log d_{lj} - \sum_{k=1}^n E_k d_{lk}^\alpha \log d_{lk} \right) + \\
& \left. + \left[\log d_{lj} \cdot \sum_{k=1}^n E_k d_{lk}^\alpha (\log d_{lk}) - \sum_{k=1}^n E_k d_{lk}^\alpha (\log d_{lk})^2 \right] \right]
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial^2 Z_F}{(\partial \alpha)^2} = & \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \left[[v]^2 \cdot v_i E_j A_i B_j d_{ij}^\alpha \cdot [2 v_i E_j A_i B_j d_{ij}^\alpha - v_{ij}] + \right. \\
& + u \left(A_i \left(A_i \left\{ \sum_{k=1}^n E_k d_{ik} \log d_{ik} \right\}^2 - \sum_{k=1}^n E_k d_{ik} (\log d_{ik})^2 \right) + \right. \\
& + B_j \left(B_j \left\{ \sum_{l=1}^n v_l d_{lj}^\alpha \left(\log d_{lj} \cdot \sum_{k=1}^n E_k d_{lk}^\alpha - \sum_{k=1}^n E_k d_{lk}^\alpha \cdot \log d_{lk} \right) \right\}^2 + \right. \\
& - \sum_{l=1}^n v_l d_{lj}^\alpha A_l^2 \left[\left[-2 A_l \sum_{k=1}^n E_k d_{lk}^\alpha \log d_{lk} + \log d_{lj} \right] \cdot \right. \\
& \left(\left(\sum_{k=1}^n E_k d_{lk}^\alpha \right) \log d_{lj} - \sum_{k=1}^n E_k d_{lk}^\alpha \log d_{lk} \right) + \\
& \left. \left. \left. + \left[\log d_{lj} \sum_{k=1}^n E_k d_{lk}^\alpha \log d_{lk} - \sum_{k=1}^n E_k d_{lk}^\alpha (\log d_{lk})^2 \right] \right] \right] \right]
\end{aligned}$$

Hiermit sind die zur Iteration benötigten Ableitungen der Zielfunktion gewonnen. Ein Nachweis der Konvergenzvoraussetzungen ist wegen der Unhandlichkeit der Ausdrücke schwer zu führen, hängt zudem stark vom jeweiligen Anwendungsfall ab, für den zudem mit Hilfe von Intervallschachtelungsverfahren ein geeigneter Anfangswert α für die Iteration berechnet werden muß.

M 6.3 ERMITTLUNG DES LOKALEN EXPONENTEN DER ENTFERNUNGSFUNKTION,
WENN DIE ZUGEHÖRIGE QUELLE EINE VON STUFE 2 ABWEICHENDE
EINSCHÄTZUNG DES AUFWANDS VORNIMMT; STUFE 4

Während alle übrigen Quellen im Untersuchungsgebiet die Verkehrsverteilung auf Stufe 2 vornehmen, befolgt Quelle i die Verteilungsstrategie:

die k nächstgelegenen Senken erhalten zusammen genau-
soviel wie die (n-1)-k entferntest gelegenen Senken.

Dabei ist der zugehörige Exponent der Entfernungsfunktion für Quelle i zu bestimmen.

Vor.: $\alpha_1 = -1,0 \quad \forall 1, 1+i$

Aufgabe: α_i ist so zu bestimmen, daß $\sum_{j=1}^k T_{ij} = \sum_{j=k+1}^{n-1} T_{ij}$, wobei die

Senken nach aufsteigender Versandentfernung von Quelle i geordnet sind.

Zur Anwendung kommt das Newton'sche Verfahren zur Nullstellenbestimmung mit der Zielfunktion

$$f(\alpha_i) = \sum_{j=1}^k A_i V_i B_j E_j d_{ij}^{\alpha_i} - \sum_{j=k+1}^{n-1} A_i V_i B_j E_j d_{ij}^{\alpha_i} = 0.$$

Die benötigte 1. Ableitung der Zielfunktion wird nachfolgend angegeben, während die Überprüfung der Konvergenzbedingungen im Anwendungsfall vorgenommen werden muß.

$$f(\alpha_i) \stackrel{A_i V_i \neq 0}{=} \sum_{j=1}^k B_j E_j d_{ij}^{\alpha_i} - \sum_{j=k+1}^{n-1} B_j E_j d_{ij}^{\alpha_i}$$

$$\frac{\partial(B_j)}{\partial \alpha_i} = \begin{cases} 0 & i=j \\ -B_j A_i^2 V_i d_{ij}^{\alpha_i} \left(A_i^{-1} \log d_{ij} - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n E_k d_{ik}^{\alpha_i} \log d_{ik} \right) & i \neq j \end{cases}$$

$$\begin{aligned}
 f'(\alpha_i) = & \sum_{j=1}^k E_j d_{ij}^{\alpha_i} \left[-B_j^2 A_i V_i d_{ij}^{\alpha_i} \left(A_i^{-1} \log d_{ij} - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n E_k d_{ik}^{\alpha_i} \log d_{ik} \right) + \right. \\
 & \left. + B_j \log d_{ij} \right] + \\
 & - \sum_{j=k+1}^{n-1} E_j d_{ij}^{\alpha_i} \left[-B_j^2 A_i V_i d_{ij}^{\alpha_i} \left(A_i^{-1} \log d_{ij} - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n E_k d_{ik}^{\alpha_i} \log d_{ik} \right) + \right. \\
 & \left. + B_j \log d_{ij} \right]
 \end{aligned}$$

M 6.4 BERECHNUNG DER VARIABLEN VERSANDEXPONENTEN AUF STUFE 5

Die im Anwendungsfall zu minimierende Zielfunktion auf Stufe 5 ist gegeben durch

$$ZF(\alpha_1, \dots, \alpha_n) = \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n (V_i E_j A_i B_j d_{ij}^{\alpha_i} - V_{ij})^2 = \min$$

mit

$$\begin{aligned}
 A_i &= \frac{1}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n E_k d_{ik}^{\alpha_i}} \\
 B_j &= \frac{1}{\sum_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^n \frac{V_l d_{lj}^{\alpha_l}}{\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq l}}^n E_k d_{lk}^{\alpha_l}}}
 \end{aligned}$$

Dann stellt sich das Newton'sche Verfahren zur Nullstellenbestimmung nichtlinearer Funktionen im n-dimensionalen Raum wie folgt dar (vgl. Stummel/Hainer [236], pp.184-189):

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial^2}{(\partial)^2} (ZF) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_1^{(t+1)} \\ \vdots \\ \alpha_n^{(t+1)} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2}{(\partial)^2} (ZF) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha_1^{(t)} \\ \vdots \\ \alpha_n^{(t)} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \frac{\partial}{\partial \alpha_1} ZF \left(\alpha^{(t)} \right) \\ \vdots \\ \frac{\partial}{\partial \alpha_n} ZF \left(\alpha^{(t)} \right) \end{pmatrix}$$

t: Anzahl der Iterationen

Anwendungsvoraussetzungen und Konvergenzbedingungen entnimmt man der angegebenen Literatur. Zur Bestimmung der Anfangswerte können wieder Intervallschachtelungsverfahren herangezogen werden oder auch der auf Stufe 3 bestimmte gemeinsame Exponent für das Gesamtsystem.

Im folgenden soll die erste Ableitung der Zielfunktion sowie die der zweiten Ableitung entsprechende Funktionalmatrix angegeben werden.

$$\frac{\partial}{\partial \alpha_m} A_i = \begin{cases} 0 & m \neq i \\ -A_i^2 \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n E_k d_{ik}^{\alpha_i} \log d_{ik} & m = i \end{cases}$$

$$\frac{\partial}{\partial \alpha_m} B_j = \begin{cases} 0 & m = j \\ -B_j^2 A_m^2 V_m d_{mj}^{\alpha_m} \left(A_m^{-1} \log d_{mj} - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq m}}^n E_k d_{mk}^{\alpha_m} \log d_{mk} \right) & m \neq j \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \alpha_m} (ZF) = & \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq m}}^n \left(V_m E_j A_m B_j d_{mj}^{\alpha_m} - V_{mj} \right) \cdot V_m E_j A_m B_j d_{mj}^{\alpha_m} \cdot \left[-A_m \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq m}}^n E_k d_{mk}^{\alpha_m} \log d_{mk} + \right. \\ & \left. - B_j A_m^2 V_m d_{mj}^{\alpha_m} \cdot \left(A_m^{-1} \log d_{mj} - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq m}}^n E_k d_{mk}^{\alpha_m} \log d_{mk} \right) + \log d_{mj} \right] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& - \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq m}}^n \left(v_{ij} E_{ij} A_i B_j d_{ij}^{\alpha_i} - v_{ij} \right) \cdot v_{ij} E_{ij} A_i d_{ij}^{\alpha_i} \cdot B_j^2 A_m^2 v_{mj}^{\alpha_m} \\
& \left(A_m^{-1} \log d_{mj} - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq m}}^n E_k d_{mk}^{\alpha_m} \log d_{mk} \right) \\
\frac{\partial^2}{\partial \alpha_i \partial \alpha_s} B_j = & \begin{cases} 0 & i=j, s \text{ beliebig} \\ 0 & s=j, i \neq j \\ \frac{2 B_j^{(i)'} \cdot B_j^{(i)'}}{B_j} + \frac{2 A_i' \cdot B_j^{(i)'}}{A_i} + (\log d_{ij}) \cdot B_j^{(i)'} - v_{ij} B_j^2 A_i^2 d_{ij}^{\alpha_i} & \begin{matrix} i=s \\ i \neq j \end{matrix} \\ \quad \cdot \left(-\log d_{ij} A_i^{-2} A_i' - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n E_k d_{ik}^{\alpha_i} (\log d_{ik})^2 \right) \\ \frac{2 B_j^{(s)'} \cdot B_j^{(i)'}}{B_j} & \begin{matrix} i, s \neq j \\ i \neq s \end{matrix} \end{cases}
\end{aligned}$$

$$\text{mit } B_j^{(r)'} := \frac{\partial B_j}{\partial \alpha_r}$$

$$A_i' := \frac{\partial A_i}{\partial \alpha_i}$$

Diagonalelement der Funktionalmatrix

$$ZF_i := \frac{\partial}{\partial \alpha_i} ZF$$

$$\begin{aligned}
\frac{\partial}{\partial \alpha_i} ZF_i &= \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n v_{ij} E_{ij} A_i B_j d_{ij}^{\alpha_i} \cdot [] \cdot v_{ij} E_{ij} A_i B_j d_{ij}^{\alpha_i} \cdot [] + \left(v_{ij} E_{ij} A_i B_j d_{ij}^{\alpha_i} - v_{ij} \right) \cdot [] \cdot \\
& \quad \cdot v_{ij} E_{ij} A_i B_j d_{ij}^{\alpha_i} \cdot [] + v_{ij} E_{ij} A_i B_j d_{ij}^{\alpha_i} \cdot []' \cdot \left(v_{ij} E_{ij} A_i B_j d_{ij}^{\alpha_i} - v_{ij} \right) \\
& - \sum_{\substack{l=1 \\ l \neq i}}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq l, i}}^n v_{lj} E_{lj} A_l d_{lj}^{\alpha_l} \cdot \left[B_j^{(i)'} \cdot v_{lj} E_{lj} A_l d_{lj}^{\alpha_l} B_j^{(i)'} + \left(v_{lj} E_{lj} A_l B_j d_{lj}^{\alpha_l} - T_{lj} \right) \cdot B_j^{(i)''} \right]
\end{aligned}$$

$$\text{mit: } [] := \left[-A_i \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n E_k d_{ik}^{\alpha_i} \log d_{ik} - B_j A_i^2 V_i d_{ij}^{\alpha_i} \cdot \left(A_i^{-1} \log d_{ij} - \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n E_k d_{ik}^{\alpha_i} \log d_{ik} \right) + \log d_{ij} \right]$$

$$[]' := - \left\{ \left(\sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n E_k d_{ik}^{\alpha_i} \log d_{ik} \right) \cdot A_i' + A_i \cdot \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^n E_k d_{ik}^{\alpha_i} \left(\log d_{ik} \right)^2 \right\} + \\ + \left(B_j B_j^{(i)''} - B_j^{(i)'} B_j^{(i)'} \right) / B_j^2$$

Nichtdiagonalelemente der Funktionalmatrix

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial \alpha_s} Z F_i &= \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i, s}}^n V_{ij} E_j A_i B_j d_{ij}^{\alpha_i} [] \cdot V_{ij} E_j A_i d_{ij}^{\alpha_i} \cdot B_j^{(s)'} + \left(V_{ij} E_j A_i B_j d_{ij}^{\alpha_i} - V_{ij} \right) [] \cdot \\ &\quad \cdot V_{ij} E_j A_i d_{ij}^{\alpha_i} \cdot B_j^{(s)'} + \left(V_{ij} E_j A_i B_j d_{ij}^{\alpha_i} - V_{ij} \right) \cdot V_{ij} E_j A_i B_j d_{ij}^{\alpha_i} \cdot \\ &\quad \cdot \left(\frac{B_j B_j^{(i)'} (s)' - B_j^{(i)'} B_j^{(s)'}}{2 B_j} \right) \\ &+ \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i, s}}^n V_{sj} E_j A_s d_{sj}^{\alpha_s} B_j^{(i)'} \cdot V_{sj} E_j A_s d_{sj}^{\alpha_s} []^{(s)'} + \left(V_{sj} E_j A_s d_{sj}^{\alpha_s} - V_{sj} \right) \cdot \\ &\quad \cdot B_j^{(i)'} \cdot V_{sj} E_j \left(d_{sj}^{\alpha_s} A_s' + A_s d_{sj}^{\alpha_s} \log d_{sj} \right) + \left(V_{sj} E_j A_s d_{sj}^{\alpha_s} - V_{sj} \right) \cdot \\ &\quad \cdot V_{sj} E_j A_s d_{sj}^{\alpha_s} \cdot B_j^{(i)'} (s)' \\ &+ \sum_{l=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq l, s, i}}^n V_{lj} E_j A_l d_{lj}^{\alpha_l} \left[B_j^{(i)'} \cdot V_{lj} E_j A_l d_{lj}^{\alpha_l} \cdot B_j^{(s)'} + \left(V_{lj} E_j A_l B_j d_{lj}^{\alpha_l} - V_{lj} \right) \cdot \right. \\ &\quad \left. \cdot B_j^{(i)'} (s)' \right] \end{aligned}$$

mit: [] : wie bei Diagonalelementen

[]^{(s)'} : wie bei Diagonalelementen, nur Ableitung nach α_s

$$B_j^{(i)'} (s)' : \frac{\partial}{\partial \alpha_i \partial \alpha_s} B_j$$

M 7. EINZELMETHODEN UND TESTVERFAHREN

M 7.1 BEMERKUNGEN ZUR STANDARDABWEICHUNGSELLIPSE (S.A.E.)

Bislang liegen nur wenige Methoden vor, räumliche Punktmuster quantitativ zu beurteilen und somit vergleichbar zu machen. Gegenüber dem Nächsten-Nachbar-Index oder Bachi's Standarddistanz besitzt die von Yuill [262] überarbeitete Methode der Bestimmung der S.A.E. den Vorteil, daß sich in den Parameterwerten die Gestalt und Richtungsorientierung des Punktmusters niederschlägt.

Auch die graphische Repräsentation der S.A.E. mit Mittelpunkt als Schwerpunkt des Punktmusters sowie der maximalen Achse in Richtung maximaler Punktstreuung, wobei die Länge der Achsen maximale und minimale Punktstreuung direkt angibt, ist in Verbindung mit der Konzentration nutzbringend zu verwenden.

Die Berechnung entnehme man der angegebenen Literaturstelle. Hier soll noch einmal die Wahl und Definition der relativen Parameter der S.A.E. begründet werden (vgl. (5.2.3)).

Aufgabenstellung ist es, die räumliche Widerstandsfunktion (Präferenzverteilung), definiert an den ausgewählten Verkehrssenen des Untersuchungsgebietes, der einzelnen Quellen miteinander zu vergleichen. Dabei ist festzuhalten, daß die relative Lage der Quellen den direkten Vergleich der Parameterwerte beeinflusst.

So hat ein VB in zentraler Lage oder ZL den Schwerpunkt seiner Präferenzverteilung höchstwahrscheinlich näher am Schwerpunkt des Punktmusters als ein VB in randlicher Lage. Davon berührt werden alle Parameter der S.A.E., vor allem Exzentrizität, Konzentration und die Richtungsorientierung der Achsen.

Um den Einfluß der relativen Lage der betrachteten Quelle auf die Parameter zu berücksichtigen, wird ein Übergang zu relativen Parametern F_r, ϵ_r, d_r angestrebt. Dabei bilden die Bezugsbasen jene Parameter, welche am Schwerpunkt mit den Präferenzen der zu untersuchenden Quelle gewichteten Punktverteilung unter Annahme der Gleichverteilung gewonnen werden können.

M 7.2 BESTIMMUNG DER "REELLEN" MEDIAN-ENTFERNUNG

Die "ordinale" Median-Entfernung der Verkehrsverteilung der Quelle i bestimmt sich als jene Zahl $k \in \mathbb{N}$, für die gilt:

$$\sum_{j=1}^k T_{ij} = \sum_{j=k+1}^{n-1} T_{ij} \quad , \quad \text{wobei die Senken nach aufsteigender Entfernung von Quelle } i \text{ angeordnet sind.}$$

Sei nun die Verkehrsverteilung $(T_{ij})_{j=1, \dots, (n-1)}$ der Quelle i vorgegeben. Dann ist $d \in \mathbb{R}$ die "reelle" Median-Entfernung, wenn gilt:

$$\text{a) } \sum_{j=1}^k T_{ij} = \sum_{j=k+1}^{n-1} T_{ij} \quad \Rightarrow d = k$$

oder

$$\text{b) } \sum_{j=1}^k T_{ij} < \frac{V_i}{2} < \sum_{j=k+1}^{n-1} T_{ij} \quad \Rightarrow d = k + \frac{\frac{V_i}{2} - \left(\sum_{j=1}^k T_{ij} \right)}{T_{i,k+1}}$$

M 7.3 URNENMODELL UND HOPE-TEST

Um die Zielauswahl einer Quelle unter bestimmten Hypothesen testen zu können, werden die in Frage kommenden $n-1$ Senken mit Wahrscheinlichkeiten p_1, p_2, \dots, p_{n-1} versehen. Für irgendeine Auswahl (i_1, \dots, i_k) von k Zielen ergibt sich die Wahrscheinlichkeit W der Ziehung ohne Zurücklegen zu

$$W(i_1, \dots, i_k) = \frac{p_{i_1}}{1} \cdot \frac{p_{i_2}}{1-p_{i_1}} \cdot \dots \cdot \frac{p_{i_k}}{1 - \sum_{j=1}^{k-1} p_{i_j}}$$

Würde man entsprechend herkömmlichen Testverfahren 1. und 2. Moment der zugehörigen Verteilung der Wahrscheinlichkeiten bestimmen wollen, dann müßten hierfür bei k jeweils zu ziehenden Zielen

$(n-1) \dots (n-k)$ Wahrscheinlichkeiten,

das sind für $n = 24$ und $k = 5$ 4 037 880 Werte errechnet werden.

Hope [114] hat gezeigt, daß folgender Satz unter nachzulesenden Voraussetzungen gilt:

Sei H_0 die zu testende Hypothese, T die gewonnene Teststatistik.

Sind m Testwerte unter H_0 gewonnen, dann kann (in einem einseitigen Test (obere Schranke)) H_0 auf dem $100 \cdot [(j+1)/(m+1)]$ %-Niveau zurückgewiesen werden, falls der beobachtete Wert T der Teststatistik wenigstens die $(m-j)$ kleinsten erzeugten Werte übertrifft.

Wählt man die Wahrscheinlichkeit W der beobachteten Zielauswahl mit der unter Hypothese H_0 vorgenommenen Gewichtung der Senken als Wert der Teststatistik und setzt $m = 99$, so müssen mindestens 90 Wahrscheinlichkeiten von 99 unter der Hypothese H_0 vorgenommenen Zufallsziehungen von W übertroffen werden, um H_0 auf dem 10%-Niveau abzulehnen.

M 7.4 VERGLEICH VON ENTROPIEWERTEN; ENTROPIE UND STANDARDABWEICHUNG

Sei $p = (p_1, \dots, p_n)$ ein n -tupel von Wahrscheinlichkeiten mit $\sum_{i=1}^n p_i = 1$. Dann ist die Entropie gegeben durch $H(p) = - \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i$.

Da $H(p)$ das n -dimensionale Einheitsintervall nichtlinear auf \mathbb{R}^+ abbildet, können die Werte dieser Funktion schwer verglichen werden.

Um eine gewisse Entzerrung vorzunehmen, wird bei Quotientenbildung zweier zu vergleichender Entropien die Transformation

$$\Delta_{p_1,2} = \frac{\left(e^{H(p_2)} \right)^{H(p_2)}}{\left(e^{H(p_1)} \right)^{H(p_1)}}$$

verwandt. Hierin geht die Umkehrfunktion des Logarithmus ein.

Beispiele:

$H(p_1) = 0,20$	$\Delta_{p_1,2} = \frac{1,064}{1,041} = 1,023$
$H(p_2) = 0,25$	
$H(p_1) = 0,60$	$\Delta_{p_1,2} = \frac{1,526}{1,433} = 1,064$
$H(p_2) = 0,65$	
$H(p_1) = 0,90$	$\Delta_{p_1,2} = \frac{2,466}{2,248} = 1,097$
$H(p_2) = 0,95$	

Relative Entropie und Standardabweichung

$$s(p) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left(p_i - \frac{1}{n} \right)^2}{n}}$$

$$H_r(p) = - \frac{\sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i}{\log_2 n} = \frac{\sum_{i=1}^n \log_2 \left(\frac{1}{p_i} \right)^{p_i}}{\log_2 n}$$

Faßt man $s(p)$ als proportional zur Entfernung von der Gleichverteilung $p_G = (\frac{1}{n}, \dots, \frac{1}{n})$ auf, so ist der Zusammenhang mit $H_r(p)$ ersichtlich.

Es gilt:

$$s(p) = 0 \Leftrightarrow p = p_g \qquad H_r(p) = 1 \Leftrightarrow p = p_G$$

$$s(p) = \max_{\substack{p = (p_1, \dots, p_n) \\ \text{mit } p_i = 1 \\ p_j = 0 \forall j, j \neq i}} \left| \frac{1}{n} \sqrt{(n-1)} \right| \quad H_r(p) = 0 \Leftrightarrow p = (p_1, \dots, p_n) \text{ mit } \exists! i: p_i = 1, p_j = 0 \forall j, j \neq i$$

Jedoch: $p_1 \neq p_2$ mit $s(p_1) = s(p_2) \neq H(p_1) = H(p_2)$

Beweis: $p_1 = (0,5, 0,5, 0)$
 $p_2 = (0,\bar{6}, 0,1\bar{6}, 0,1\bar{6})$
 $s(p_1) = s(p_2) = 0,289$
 $H(p_1) = 0,693$
 $H(p_2) = 0,868$

M 7.5 ZUR DIFFERENZ DER BESTIMMTHEITSMASSE VON STUFE k UND STUFE 1

Bezeichnungen: (V_{ij}) vorgegebene, zu approximierende VSM
 (T_{ij}) modellhaft berechnete VSM
 (F_{ij}) VSM auf Stufe 1

$$\begin{aligned} & \frac{\sigma^2(V_{ij}) - E(T_{ij} - V_{ij})^2}{\sigma^2(V_{ij})} - \frac{\sigma^2(V_{ij}) - E(F_{ij} - V_{ij})^2}{\sigma^2(V_{ij})} = \\ & = \frac{E(F_{ij} - V_{ij})^2 - E(T_{ij} - V_{ij})^2}{\sigma^2(V_{ij})} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (F_{ij} - V_{ij})^2 - \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (T_{ij} - V_{ij})^2}{\sigma^2(V_{ij})} \end{aligned}$$

: = $\frac{\text{Differenz der mittleren Abweichungsquadrate}}{\text{Streuung der wahren Werte}}$

M 7.6 RAUMUNABHÄNGIGER TEST ZUR SIGNIFIKANZ VON TEILSYSTEMEN

Sei $(T_{ij})_{i,j=1,..,n}$ die zu untersuchende VSM. Wähle $(i_1,..,i_m)$ VB aus, mit $m < n$, von denen vermutet wird, daß sie untereinander starke Verflechtungen aufweisen.

$$1. \text{Schritt: Bilde } v_{i_k}^{(m)} = \sum_{(i_k, j_1) \in (i_1, .., i_m) \times (i_1, .., i_m)} T_{i_k j_1}$$

$$\text{und } A_{i_k} = \frac{v_{i_k}^{(m)}}{v_{i_k}} \quad \begin{array}{l} \text{Anteil des Versands von} \\ i_k, \text{ der im Teilsystem} \\ \text{bleibt.} \end{array}$$

Das geometrische Mittel \bar{A}_G aller so bestimmten Anteile ergibt sich zu

$$\bar{A}_G = \sqrt[m]{A_{i_1} \dots A_{i_m}}$$

$$\text{Es gilt: } 0 \leq \bar{A}_G \leq 1; \quad \bar{A}_G = 0 \Leftrightarrow \exists i_j : A_{i_j} = 0$$

2.Schritt: Maximal möglicher Anteil

Für jede Quelle i_k seien die Versandwerte $T_{i_k, j}$ in absteigender Reihung gegeben.

$$\text{Bilde } A_{i_k}^M := \frac{\sum_{j=1}^{m-1} T_{i_k j}}{v_{i_k}} \quad \text{und} \quad \bar{A}_G^M = \sqrt[m]{A_{i_1}^M \dots A_{i_m}^M}$$

$$\text{Es gilt: } A_{i_k} \leq A_{i_k}^M; \quad \bar{A}_G \leq \bar{A}_G^M$$

3.Schritt: Testgröße T

$$T = \frac{\bar{A}_G}{\bar{A}_G^M}; \quad 0 \leq T \leq 1$$

4.Schritt: Erwarteter Anteil e_{ik} und Standardabweichung s_{ik} um e_{ik}

e_{ik} = arithmetisches Mittel aller möglichen Anteile A_{ik}

s_{ik} = zugehörige Standardabweichung

Da eine explizite Berechnung von e_{ik} und s_{ik} i.a. nicht möglich ist, werden zur Bestimmung der beiden Größen Monte-Carlo-Methoden eingesetzt. D.h., es werden je VB 99 Zufallsbeziehungen mit je (m-1) Versandrelationen unter der Annahme von Gleichwahrscheinlichkeit und ohne Zurücklegen vorgenommen und von diesem Sample e_{ik} und s_{ik} berechnet.

5.Schritt: Wahl der Testschranke

Die Wahl der Testschranke beinhaltet das geometrische Mittel der rechtsseitigen Werte einer Standardabweichung vom Erwartungswert, gekoppelt mit dem absoluten Wert 0,5 (vgl. (5.2.2)).

D.h.: Das Verhältnis von mittlerem beobachteten zu mittlerem maximalen möglichen Anteil im System muß mindestens 0,5, im Falle ausgeglichener Anteilswerte mindestens oberhalb des geometrischen Mittels einer Standardabweichung vom arithmetischen Mittel erreichen.

TABELLENANHANG

1. ENTROPIE-MAXIMIERUNGSHYPOTHESE
2. ENTFERNUNGSMATRIZEN / NACHBARSCHAFTEN /
RELATIVE LAGE
3. MODELLRECHNUNGEN
4. VB-AUSWAHL UND AUSWAHL DER VB-SCHWERPUNKTE
5. TEILVERKEHRAUSWAHL / ELEKTROTECHNISCHE INDUSTRIE
6. ORIGINALMATRIX SÜD GESAMT, GGR 931, 1972
7. URNENMODELL
8. APPROXIMATION DER ORIGINALMATRIX MIT HILFE
DES KONKURRENZMODELLS

ENTROPIE-MAXIMIERUNGSHYPOTHESE

Tabelle 1

Ausgewählte Mikrozustände zu den Makrozuständen 3,30,55

Mikrozustand zum Makrozustand 3

1	2	3	1	2	3
1	x				
2		x			
3			x		
1				x	
2					x
3					
1					
2					
3					

Erklärung : Person 1 aus Zone 1 arbeitet an Arbeitsplatz 1 der Zone 1

1	2	3	1	2	3
"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"
"	"	"	"	"	"

Alle Mikrozustände zum Makrozustand 30

1	2	3	1	2	3
1	x				
2		x			
3			x		
1				x	
2					x
3					
1					
2					
3					

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

1	2	3	1	2	3
x					
	x				
		x			
			x		
				x	
					x

Fortsetzung Tabelle 1

Mikrozustände zum Makrozustand 30

1 2 3 1 2 3 1 2 3	1 2 3 1 2 3 1 2 3	1 2 3 1 2 3 1 2 3
1 x	1	1
2	2 x	2
3	3	3 x
1	1	1
2	2 x	2
3	3	3 x
1	1	1
2	2	2
3	3	3

1 2 3 1 2 3 1 2 3	1 2 3 1 2 3 1 2 3	1 2 3 1 2 3 1 2 3
1 x	1	1
2	2 x	2
3	3	3 x
1	1	1
2	2 x	2
3	3	3 x
1	1	1
2	2	2
3	3	3

1 2 3 1 2 3 1 2 3	1 2 3 1 2 3 1 2 3	1 2 3 1 2 3 1 2 3
1 x	1	1
2	2 x	2
3	3	3 x
1	1	1
2	2 x	2
3	3	3 x
1	1	1
2	2	2
3	3	3

Ausgewählte Mikrozustände zu Makrozustand 55

1 2 3 1 2 3 1 2 3	1 2 3 1 2 3 1 2 3	1 2 3 1 2 3 1 2 3
1 x	1	1
2	2 x	2
3	3	3 x
1	1	1
2	2 x	2
3	3	3 x
1	1	1
2	2	2
3	3	3

1 2 3 1 2 3 1 2 3	1 2 3 1 2 3 1 2 3	1 2 3 1 2 3 1 2 3
1 x	1	1
2	2 x	2
3	3	3 x
1	1	1
2	2 x	2
3	3	3 x
1	1	1
2	2	2
3	3	3

1 2 3 1 2 3 1 2 3	1 2 3 1 2 3 1 2 3	1 2 3 1 2 3 1 2 3
1 x	1	1
2	2 x	2
3	3	3 x
1	1	1
2	2 x	2
3	3	3 x
1	1	1
2	2	2
3	3	3

ENTFERNUNGSMATRIZEN / NACHBARSCHAFTEN / RELATIVE LAGE

Tabelle 2

Punktmuster 'Johnston' ; ordinale Entfernungsmatrix

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
1		1	3	6	2	4	8	5	7	9	11	10	12	16	13	14	15	17	18	19	20	21	23	22	24	
2	1		7	4	2	3	6	5	8	9	10	11	13	18	15	14	12	16	17	19	21	20	23	22	24	
3	1	7		14	2	6	12	5	3	10	11	8	4	9	13	15	16	17	18	19	20	21	23	22	24	
4	11	6	17		3	1	2	4	8	5	7	10	16	21	13	12	9	15	14	18	20	19	22	23	24	
5	10	9	11	6		1	4	2	3	5	8	7	12	18	14	13	15	16	17	19	20	21	23	22	24	
6	11	9	15	4	1		3	2	6	5	7	8	14	19	13	12	10	16	17	18	20	21	23	22	24	
7	17	14	19	5	6	3		2	9	1	4	8	15	21	11	10	7	13	12	16	18	20	21	23	22	24
8	15	13	17	8	3	1	4		5	2	6	7	12	19	11	9	10	14	16	18	20	21	23	22	24	
9	17	18	14	13	5	7	9	2		4	3	1	6	15	8	10	11	12	16	19	20	21	23	22	24	
10	18	16	20	11	9	6	2	3	5		1	4	14	21	10	7	8	12	13	15	17	19	23	22	24	
11	21	19	20	14	11	10	6	4	5	1		2	13	17	8	3	7	9	12	15	16	18	23	22	24	
12	20	19	17	15	11	12	8	5	2	4	1		7	16	3	6	10	9	13	14	18	21	23	22	24	
13	19	20	11	17	10	13	12	6	2	9	5	3		4	1	7	14	8	15	16	18	22	24	21	23	
14	19	21	8	20	11	15	16	9	4	10	6	3	1		2	7	14	5	13	12	18	22	24	17	23	
15	22	21	19	17	14	16	12	11	6	7	4	1	5	13		3	9	2	8	10	15	18	23	20	24	
16	22	21	19	17	15	14	9	11	10	7	1	6	13	18	5		2	3	4	8	12	16	23	20	24	
17	20	19	21	15	16	14	5	10	12	4	3	7	17	18	9	1		6	2	8	11	13	23	22	24	
18	23	22	21	19	17	16	13	12	11	9	6	8	10	15	4	1	5		2	3	7	14	20	18	24	
19	23	21	22	17	16	15	11	12	13	9	6	10	14	19	7	3	4	2		1	5	8	20	18	24	
20	24	23	22	20	19	17	11	15	13	10	8	9	14	18	7	4	5	3	1		2	6	16	12	21	
21	24	22	23	18	19	17	13	15	14	11	8	10	16	20	7	5	6	4	2	1		3	9	12	21	
22	23	21	24	14	19	16	11	13	15	9	8	12	18	20	10	5	4	6	2	3	1		7	17	22	
23	24	22	23	19	21	18	14	16	17	12	11	13	15	20	10	8	7	6	5	3	2	1		4	9	
24	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	11	10	7	8	12	4	6	2	3	9	5		1	
25	23	24	21	22	19	20	18	17	15	16	14	12	10	6	8	9	13	5	7	4	3	11	2	1		

Empfangs-Entfernungsverteilung

\bar{x}	s^2	v
18,00	43,58	0,37
17,12	38,69	0,36
17,33	30,56	0,32
14,00	31,00	0,40
11,29	45,12	0,59
11,00	39,17	0,57
9,46	21,75	0,49
8,46	26,66	0,61
8,71	21,71	0,53
7,62	15,15	0,51
6,79	13,50	0,54
7,62	12,98	0,47
11,75	18,02	0,36
16,29	21,21	0,28
8,71	14,29	0,43
7,75	16,69	0,53
9,37	15,07	0,41
9,17	27,05	0,57
10,42	35,24	0,57
11,67	45,39	0,58
13,63	50,73	0,52
16,08	39,58	0,39
19,62	42,23	0,33
18,62	32,65	0,31
22,00	28,41	0,24

Tabelle 3

Punktmuster 'Johnston' ; Nachbarschaften n. Ordnung

Nachbarn n. Ordnung

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	Σ	s		1	2	3	4
1		1	1	2	1	2	3	2	2	3	4	3	2	2	3	4	3	3	4	4	4	3	4	3	3	66	2,75	3	6	9	6	
2	1		2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	4	3	2	4	3	4	3	2	3	4	4	63	2,63	4	6	9	5	
3	1	2		3	1	2	3	2	1	3	3	2	1	1	2	3	4	2	3	3	3	4	3	2	2	56	2,33	5	8	9	2	
4	2	1	3		2	1	1	2	3	2	2	3	4	4	3	2	1	3	2	3	2	1	2	3	3	56	2,33	5	9	8	2	
5	1	1	1	2		1	2	1	1	2	3	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	3	4	3	3	58	2,42	6	6	8	4	
6	2	1	2	1	1		1	1	2	2	3	2	3	3	3	3	2	4	3	4	3	2	3	4	4	59	2,46	5	7	8	4	
7	3	2	3	1	2	1		1	2	1	2	2	3	4	3	2	1	3	2	3	3	2	3	4	4	58	2,42	5	8	8	3	
8	2	2	2	2	1	1	1		1	1	2	1	2	3	2	2	2	3	3	4	4	3	4	4	4	56	2,33	6	9	4	5	
9	2	2	1	3	1	2	2	1		2	2	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	4	3	3	57	2,38	5	9	6	4	
10	3	3	3	2	2	2	1	1	2		1	1	2	3	2	2	1	3	2	3	3	2	3	4	4	55	2,29	5	9	8	2	
11	4	3	3	2	3	3	2	2	2	1		1	2	3	2	1	1	2	2	3	3	2	3	3	4	57	2,38	4	9	9	2	
12	3	3	2	3	2	2	2	1	1	1	1		1	2	1	1	2	2	2	3	3	3	4	3	3	51	2,13	7	8	8	1	
13	2	3	1	4	2	3	3	2	1	2	2	1		1	1	2	3	2	3	3	3	4	3	2	2	55	2,29	5	9	8	2	
14	2	3	1	4	2	3	4	3	2	3	3	2	1		1	2	3	1	2	2	2	3	2	1	1	53	2,21	6	9	7	2	
15	3	4	2	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1	1		1	2	1	2	2	3	3	3	2	2	53	2,21	5	10	8	1	
16	4	3	3	2	3	3	2	2	2	2	1	1	2	2	1		1	1	1	2	2	2	3	2	3	50	2,08	6	11	6	1	
17	3	2	4	1	3	2	1	2	3	1	1	2	3	3	2	1		2	1	2	2	1	2	3	3	50	2,08	7	9	7	1	
18	3	4	2	3	3	4	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	2		1	1	2	2	2	1	2	53	2,21	6	9	7	2	
19	4	3	3	2	4	3	2	3	3	2	2	2	3	2	2	1	1	1		1	1	1	2	2	2	52	2,17	6	10	6	2	
20	4	4	3	3	4	4	3	4	4	3	3	3	3	3	2	2	2	2	1	1		1	2	2	1	63	2,63	4	7	7	6	
21	4	3	3	2	4	3	3	4	4	3	3	3	3	3	2	3	2	2	2	1	1		1	1	2	60	2,50	5	6	9	4	
22	3	2	4	1	3	2	2	3	4	2	2	3	4	3	3	2	1	2	1	2	1		1	2	2	55	2,29	5	10	6	3	
23	4	3	3	2	4	3	3	4	4	3	3	4	3	2	3	3	2	2	2	2	1	1		1	1	63	2,63	4	6	9	5	
24	3	4	2	3	3	4	4	4	3	4	3	3	2	1	2	2	3	1	2	1	1	2		1	1	59	2,46	6	6	7	5	
25	3	4	2	3	3	4	4	4	3	4	4	3	2	1	2	3	3	2	3	2	2	2	1	1		65	2,71	3	7	8	6	

Tabelle 4

Punktmuster 'Süd-VB' ; transformierte Entfernungsmatrix

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	\bar{x}	v
1		2,81	1,00	8,12	12,54	3,77	5,59	7,88	8,84	12,74	4,30	7,48	10,77	11,02	9,28	16,77	15,00	19,74	13,11	12,70	12,94	15,04	17,33	17,61	10,71	0,46
2	2,81		2,37	5,51	9,97	3,09	3,77	5,91	6,27	10,93	6,15	8,24	12,26	10,29	8,56	15,32	14,27	19,02	11,66	11,06	11,14	13,39	15,92	15,96	9,72	0,47
3	1,00	2,37		7,68	11,74	2,97	4,78	7,07	8,04	11,94	4,30	6,67	10,69	10,21	8,48	15,96	14,19	18,94	12,30	11,90	12,14	14,23	16,52	16,81	10,04	0,48
4	8,12	5,51	7,68		6,91	8,40	9,08	10,21	6,99	9,16	11,46	13,55	17,57	15,60	13,87	18,46	18,25	23,00	15,32	13,75	12,14	15,60	17,21	18,17	12,87	0,36
5	12,54	9,97	11,74	6,91		10,69	8,60	6,55	5,75	4,14	15,80	15,16	16,16	13,47	12,78	14,31	14,59	18,90	11,66	10,09	8,00	11,46	13,07	14,03	11,58	0,31
6	3,77	3,09	2,97	8,40	10,69		2,29	6,03	5,79	9,45	5,30	5,34	9,37	7,44	5,71	13,19	11,42	16,16	9,53	9,12	9,65	11,46	13,75	14,03	8,43	0,45
7	5,59	3,77	4,78	9,08	8,60	2,29		3,94	3,69	7,35	7,40	7,44	10,57	7,88	6,15	11,74	11,02	15,76	8,08	7,48	7,56	9,81	12,06	12,38	8,02	0,40
8	7,88	5,91	7,07	10,21	6,55	6,03	3,94		5,10	3,61	11,14	8,80	9,81	7,11	6,43	8,92	8,24	12,98	4,10	3,73	3,81	6,07	8,32	8,64	7,15	0,35
9	8,84	6,27	8,04	6,99	5,75	5,79	3,69	5,10		5,30	10,89	10,93	13,79	11,10	9,37	13,83	13,15	17,89	10,21	8,64	8,28	10,97	13,23	13,55	9,63	0,36
10	12,74	10,93	11,94	9,16	4,14	9,45	7,35	3,61	5,30		14,55	12,22	13,23	10,53	9,85	11,26	11,66	15,84	8,72	7,15	4,94	8,40	10,01	10,97	9,74	0,32
11	4,30	6,15	4,30	11,46	15,80	5,30	7,40	11,14	10,89	14,55		3,81	6,67	8,04	7,40	14,51	12,02	16,77	11,66	12,22	14,76	14,55	16,85	17,13	10,77	0,40
12	7,48	8,24	6,67	13,55	15,16	5,34	7,44	8,80	10,93	12,22	3,81		4,22	4,42	3,77	10,89	8,40	13,15	8,04	8,92	12,42	11,14	13,55	13,71	9,23	0,37
13	10,77	12,26	10,69	17,57	16,16	9,37	10,57	9,81	13,79	13,23	6,67	4,22		2,89	4,62	9,37	6,87	11,62	7,52	8,40	12,54	10,61	13,03	13,19	10,25	0,35
14	11,02	10,29	10,21	15,60	13,47	7,44	7,88	7,11	11,10	10,53	8,04	4,42	2,89		1,93	6,67	4,18	8,92	4,82	5,71	9,85	7,92	10,33	10,49	8,29	0,39
15	9,28	8,56	8,48	13,87	12,78	5,71	6,15	6,43	9,37	9,85	7,40	3,77	4,62	1,93		8,12	5,91	10,65	4,46	5,34	9,49	7,56	9,97	10,13	7,82	0,36
16	16,77	15,32	15,96	18,46	14,31	13,19	11,74	8,92	13,83	11,26	14,51	10,89	9,37	6,67	8,12		2,69	4,78	3,86	5,38	8,12	3,05	6,95	4,90	9,96	0,46
17	15,00	14,27	14,19	18,25	14,59	11,42	11,02	8,24	13,15	11,66	12,02	8,40	6,87	4,18	5,91	2,69		4,94	3,13	5,83	9,97	5,55	9,45	7,40	9,48	0,44
18	19,74	19,02	18,94	23,00	18,90	16,16	15,76	12,98	17,89	15,84	16,77	13,15	11,62	8,92	10,65	4,78	4,94		7,88	9,97	12,70	7,64	11,54	6,87	13,29	0,38
19	13,11	11,66	12,30	15,32	11,66	9,53	8,08	4,10	10,21	8,72	11,66	8,04	7,52	4,82	4,46	3,86	3,13	7,88		2,89	7,03	3,29	7,11	5,87	7,92	0,44
20	12,70	11,06	11,90	13,75	10,09	9,12	7,48	3,73	8,64	7,15	12,22	8,92	8,40	5,71	5,34	5,38	5,83	9,97	2,89		4,34	2,53	4,82	5,10	7,70	0,42
21	12,94	11,14	12,14	12,14	8,00	9,65	7,56	3,81	8,28	4,94	14,76	12,42	12,54	9,85	9,49	8,12	9,97	12,70	7,03	4,34		5,26	5,95	7,84	9,16	0,33
22	15,04	13,39	14,23	15,60	11,46	11,46	9,81	6,07	10,97	8,40	14,55	11,14	10,61	7,92	7,56	3,05	5,55	7,64	3,29	2,53	5,26		4,10	2,77	8,80	0,47
23	17,33	15,72	16,52	17,21	13,07	13,75	12,06	8,32	13,23	10,01	16,85	13,55	13,03	10,33	9,97	6,95	9,45	11,54	7,11	4,82	5,95	4,10		6,67	11,20	0,36
24	17,61	15,96	16,81	18,17	14,03	14,03	12,38	8,64	13,55	10,97	17,13	13,71	13,19	10,49	10,13	4,90	7,40	6,87	5,87	5,10	7,84	2,77	6,67		11,05	0,40

Tabelle 5

Übergang von 'Süd-VB' zu 'Hexagonal' : Gegenüberstellung von Parametern der relativen Lage und Nachbarschaften

VB	Durchschnittsentfernung		Variationskoeffizient		Nachbarschaften 1. Ordnung (Angabe der Nachbarn)	
	Süd-VB	Hexagonal	Süd-VB	Hexagonal	Süd-VB	Hexagonal
1	10,71 (7)	10,46 (7)	0,465	0,509	2, 3	3, 6, 11
2	9,72 (12)	11,95 (2)	0,472	0,509	1, 3, 4, 7, 9	3, 4, 7
3	10,04 (9)	10,69 (5)	0,483	0,536	1, 2, 6, 7, 11, 12	1, 2, 6, 7
4	12,87 (2)	10,56 (6)	0,357	0,534	2, 5, 9	2, 5, 7
5	11,58 (3)	10,71 (4)	0,312	0,484	4, 9, 10	4, 7, 9, 10
6	8,43 (18)	7,53 (18)	0,448	0,575	3, 7, 8, 12, 15	1, 3, 7, 8, 11, 15
7	8,02 (20)	7,92 (15)	0,401	0,596	2, 3, 6, 8, 9, 10	2, 3, 4, 6, 8, 9
8	7,15 (24)	6,17 (24)	0,347	0,512	6, 7, 10, 15, 20	6, 7, 9, 15, 19, 20
9	9,63 (13)	7,45 (20)	0,362	0,558	2, 4, 5, 7, 10	4, 5, 7, 8, 10, 20
10	9,74 (11)	9,34 (12)	0,324	0,499	5, 7, 8, 9, 20, 21	5, 9, 20, 21
11	10,77 (6)	8,97 (14)	0,403	0,521	3, 12	1, 6, 12, 15
12	9,23 (15)	9,11 (13)	0,375	0,519	3, 6, 11, 13, 15	11, 13, 14, 15
13	10,25 (8)	10,40 (8)	0,351	0,520	12, 14, 15, 17	12, 14, 17
14	8,29 (19)	7,65 (17)	0,394	0,592	13, 15, 17	12, 13, 15, 16, 17, 19
15	7,82 (22)	6,64 (21)	0,361	0,523	6, 8, 12, 13, 14, 17, 19, 20	6, 8, 11, 12, 14, 19
16	9,96 (10)	7,75 (16)	0,465	0,618	17, 18, 19, 22, 24	14, 17, 18, 19, 22, 24
17	9,48 (14)	10,23 (9)	0,440	0,559	13, 14, 15, 16, 18, 19	13, 14, 16, 18
18	13,29 (1)	12,07 (1)	0,376	0,506	16, 17, 24	16, 17, 24
19	7,92 (21)	6,21 (23)	0,440	0,531	15, 16, 17, 20, 22	8, 14, 15, 16, 20, 22
20	7,70 (23)	6,56 (22)	0,417	0,501	8, 10, 15, 19, 21, 22	8, 9, 10, 19, 21, 22
21	9,17 (16)	9,43 (11)	0,330	0,492	10, 20, 22, 23	10, 20, 22, 23
22	8,80 (17)	7,51 (19)	0,470	0,576	16, 19, 20, 21, 23, 24	16, 19, 20, 21, 23, 24
23	11,20 (4)	10,88 (3)	0,357	0,483	21, 22, 24	21, 22, 24
24	11,05 (5)	10,08 (10)	0,405	0,554	16, 18, 22, 23	16, 18, 22, 23

Werte in () bezeichnen Reihung absteigend.

MODELLRECHNUNGEN

Tabelle 6

Modellrechnungen auf Stufe 2

Punktmuster Johnston ; reale Entfernungsmatrix ; Verkehrsverteilung des modifizierten Gravitationsmodells (Beziehung 16)

Relative
Entropie

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	V	E
1		137,0	72,1	53,1	73,0	62,4	46,3	53,5	48,6	42,7	39,1	40,5	36,9	29,1	32,6	32,1	31,8	27,8	26,7	24,3	22,3	21,7	15,6	17,1	13,9	0,951	0,930
2	131,0		48,1	71,7	74,4	72,3	52,2	55,5	45,5	45,1	39,8	39,3	32,9	25,5	31,2	32,4	33,5	27,4	27,2	24,4	22,5	22,6	15,7	16,5	13,2	0,951	0,934
3	76,5	53,4		40,8	67,1	53,4	43,7	55,2	62,9	44,8	43,9	50,0	57,1	46,2	41,8	36,7	33,5	33,2	29,8	27,8	24,9	22,7	17,0	20,7	16,8	0,977	0,971
4	39,5	55,8	28,6		68,7	105,3	94,4	68,0	44,4	62,1	48,7	42,0	29,0	21,2	31,8	37,8	44,1	29,2	31,2	26,3	24,2	25,4	15,4	15,2	11,6	0,955	0,976
5	41,3	44,0	35,8	52,2		138,5	63,9	112,8	68,5	57,8	47,5	48,9	33,7	21,9	31,7	32,3	31,4	25,1	23,8	20,6	18,1	17,1	11,2	12,5	9,5	0,931	0,960
6	33,0	39,9	26,5	74,7	129,2		94,7	114,4	52,5	66,0	48,3	43,9	27,8	18,6	29,0	32,4	33,8	24,2	24,0	20,3	18,0	17,5	10,9	11,7	8,8	0,922	0,953
7	23,6	27,8	21,0	64,7	57,6	91,5		95,7	48,2	123,3	68,6	49,6	26,9	17,9	32,7	42,7	49,9	28,8	30,2	24,1	21,1	20,7	11,9	12,4	9,0	0,933	0,973
8	24,9	27,0	24,2	42,6	92,9	101,1	87,5		80,1	96,0	67,0	62,8	31,7	19,2	34,2	37,2	35,4	26,3	24,9	20,7	17,8	16,5	10,2	11,4	8,4	0,928	0,967
9	25,5	25,0	31,1	31,4	63,7	52,3	49,7	90,4		66,2	71,0	117,4	58,6	28,5	52,1	43,6	34,9	33,3	27,9	24,2	20,3	17,5	11,5	13,9	10,1	0,945	0,980
10	18,9	20,8	18,6	36,9	45,1	55,2	106,8	90,9	55,6		133,3	68,9	28,7	17,8	38,5	53,1	53,1	31,7	31,4	24,5	20,5	18,8	10,8	11,8	8,4	0,924	0,972
11	17,1	18,2	18,1	28,6	36,7	40,1	58,9	62,9	59,1	132,2		106,4	33,3	19,7	53,3	78,5	57,1	40,3	36,5	28,1	22,6	19,3	11,2	12,8	8,9	0,929	0,976
12	19,1	19,3	22,2	26,6	40,7	39,2	45,8	63,5	105,1	73,5	114,4		51,7	25,6	74,9	61,1	41,0	41,3	32,6	27,4	21,9	18,1	11,4	13,9	9,7	0,937	0,978
13	26,3	24,5	38,4	27,8	42,4	37,5	37,7	48,5	79,5	46,3	54,2	78,3		74,7	83,2	48,3	35,9	47,0	34,7	32,8	27,1	21,6	15,6	21,8	15,7	0,967	0,975
14	29,8	27,3	44,5	29,1	39,5	36,0	36,0	42,2	55,5	41,3	46,0	55,6	107,2		65,3	45,4	36,4	49,1	37,8	38,2	32,7	26,0	20,9	33,1	25,0	0,978	0,974
15	18,5	18,6	22,4	24,3	31,9	31,2	36,4	41,7	56,3	49,6	69,2	90,5	66,3	36,3		82,6	45,4	84,3	47,2	42,9	31,8	23,2	15,2	20,5	13,5	0,957	0,983
16	16,0	16,9	17,2	25,3	28,4	30,5	41,6	39,7	41,2	59,8	89,2	64,5	33,7	22,0	72,2		87,3	85,7	73,7	49,7	35,6	26,9	14,7	17,0	11,1	0,947	0,979
17	18,2	20,1	18,1	34,1	31,8	36,8	56,3	43,6	38,1	69,1	74,9	50,1	29,0	20,4	45,9	100,8		55,4	81,6	49,8	41,1	37,8	17,5	17,6	11,9	0,957	0,986
18	16,1	16,6	18,1	22,7	25,7	26,5	32,6	32,7	36,6	41,5	53,2	50,7	38,1	27,7	85,7	99,6	55,7		90,7	88,4	51,7	31,1	18,8	24,6	14,9	0,948	0,971
19	15,2	16,2	16,0	23,9	24,0	26,0	33,8	30,4	30,3	40,5	47,5	39,5	27,7	21,1	47,4	84,5	81,0	89,5		126,2	76,9	45,8	21,1	22,0	13,7	0,936	0,954
20	14,9	15,7	16,1	21,7	22,4	23,6	29,1	27,3	28,3	34,1	39,5	35,7	28,3	22,9	46,3	61,5	53,2	94,0	135,9		122,4	46,8	25,3	28,6	16,5	0,925	0,934
21	16,3	17,3	17,2	23,8	23,5	25,0	30,4	28,0	28,2	34,1	37,8	34,1	27,8	23,4	41,0	52,5	52,3	65,6	98,7	157,9		74,5	36,9	34,1	19,7	0,935	0,935
22	21,0	22,9	20,7	33,1	29,3	32,1	39,4	34,2	32,2	41,2	42,7	37,2	29,4	24,6	39,6	52,3	63,7	52,1	77,8	73,7	98,5		49,6	31,9	21,2	0,970	0,961
23	23,6	24,9	24,3	31,3	30,0	31,4	35,4	33,2	33,2	37,2	38,9	36,7	33,3	31,1	40,6	45,0	46,3	49,5	56,1	62,6	76,5	77,8		59,6	41,6	0,982	0,949
24	22,8	22,9	26,0	27,2	29,3	29,4	32,3	32,5	35,2	35,5	38,8	39,3	40,7	42,9	48,0	45,4	40,7	56,5	51,3	61,9	61,9	43,8	52,1		83,8	0,983	0,921
25	25,9	25,7	29,5	29,0	31,2	31,0	33,0	33,5	36,0	35,5	37,8	38,6	41,1	45,5	44,3	41,8	38,5	48,0	44,7	50,0	50,1	40,8	51,1	117,5		0,979	0,921

Relative Entropiedifferenz : 0,038

Tabelle 7

Punktmuster 'Johnston' ; ordinale Entfernungsmatrix : Verkehrsverteilung des einfachen Gravitationsmodells auf Stufe 2 (Beziehung 16)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	E _{berechnet}
1		264,8	88,3	44,1	132,4	66,2	33,1	53,0	37,8	29,4	24,1	26,5	22,1	16,6	20,4	18,9	17,7	15,6	14,7	13,9	13,2	12,6	11,5	12,0	11,0	849,1
2	264,8		37,8	66,2	132,4	88,3	44,1	53,0	33,1	29,4	26,5	24,1	20,4	14,7	17,7	18,9	22,1	16,6	15,6	13,9	12,6	13,2	11,5	12,0	11,0	664,5
3	264,8	37,8		18,9	132,4	44,1	22,1	53,0	88,3	26,5	24,1	33,1	66,2	29,4	20,4	17,7	16,6	15,6	14,7	13,9	13,2	12,6	11,5	12,0	11,0	467,0
4	24,1	44,1	15,6		88,3	264,8	132,4	66,2	33,1	53,0	37,8	26,5	16,6	12,6	20,4	22,1	29,4	17,7	18,9	14,7	13,2	13,9	12,0	11,5	11,0	599,3
5	26,5	29,4	24,1	44,1		264,8	66,2	132,4	88,3	53,0	33,1	37,8	22,1	14,7	18,9	20,4	17,7	16,6	15,6	13,9	13,2	12,6	11,5	12,0	11,0	1230,7
6	24,1	29,4	17,7	66,2	264,8		88,3	132,4	44,1	53,0	37,8	33,1	18,9	13,9	20,4	22,1	26,5	16,6	15,6	14,7	13,2	12,6	11,5	12,0	11,0	1428,2
7	15,6	18,9	13,9	53,0	44,1	88,3		132,4	29,4	264,8	66,2	33,1	17,7	12,6	24,1	26,5	37,8	20,4	22,1	16,6	14,7	13,2	11,5	12,0	11,0	995,9
8	17,7	20,4	15,6	33,1	88,3	264,8	66,2		53,0	132,4	44,1	37,8	22,1	13,9	24,1	29,4	26,5	18,9	16,6	14,7	13,2	12,6	11,5	12,0	11,0	1257,9
9	15,6	14,7	18,9	20,4	53,0	37,8	29,4	132,4		66,2	88,3	264,8	44,1	17,7	33,1	26,5	24,1	22,1	16,6	13,9	13,2	12,6	11,5	12,0	11,0	1088,0
10	14,7	16,6	13,2	24,1	29,4	44,1	132,4	88,3	53,0		264,8	66,2	18,9	12,6	26,5	37,8	33,1	22,1	20,4	17,7	15,6	13,9	11,5	12,0	11,0	1429,6
11	12,6	13,9	13,2	18,9	24,1	26,5	44,1	66,2	53,0	264,8		132,4	20,4	15,6	33,1	88,3	37,8	29,4	22,1	17,7	16,6	14,7	11,5	12,0	11,0	1677,6
12	13,2	13,9	15,6	17,7	24,1	22,1	33,1	53,0	132,4	66,2	264,8		37,8	16,6	88,3	44,1	26,5	29,4	20,4	18,9	14,7	12,6	11,5	12,0	11,0	1439,2
13	13,9	13,2	24,1	15,6	26,5	20,4	22,1	44,1	132,4	29,4	53,0	88,3		66,2	264,8	37,8	18,9	33,1	17,7	16,6	14,7	12,0	11,0	12,6	11,5	844,7
14	13,9	12,6	33,1	13,2	24,1	17,7	16,6	29,4	66,2	26,5	44,1	88,3	264,8		132,4	37,8	18,9	53,0	20,4	22,1	14,7	12,0	11,0	15,6	11,5	463,6
15	12,0	12,6	13,9	15,6	18,9	16,6	22,1	24,1	44,1	37,8	66,2	264,8	53,0	20,4		88,3	29,4	132,4	33,1	26,5	17,7	14,7	11,5	13,2	11,0	1130,4
16	12,0	12,6	13,9	15,6	17,7	18,9	29,4	24,1	26,5	37,8	264,8	44,1	20,4	14,7	53,0		132,4	88,3	66,2	33,1	22,1	16,6	11,5	13,2	11,0	1422,3
17	13,2	13,9	12,6	17,7	16,6	18,9	53,0	26,5	22,1	66,2	88,3	37,8	15,6	14,7	29,4	264,8		44,1	132,4	33,1	24,1	20,4	11,5	12,0	11,0	878,1
18	11,5	12,0	12,6	13,9	15,6	16,6	20,4	22,1	24,1	29,4	44,1	33,1	26,5	17,7	66,2	264,8	53,0		132,4	88,3	37,8	18,9	13,2	14,7	11,0	1086,0
19	11,5	12,6	12,0	15,6	16,6	17,7	24,1	22,1	20,4	29,4	44,1	26,5	18,9	13,9	37,8	88,3	66,2	132,4		264,8	53,0	33,1	13,2	14,7	11,0	1279,8
20	11,0	11,5	12,0	13,2	13,9	15,6	24,1	17,7	20,4	26,5	33,1	29,4	18,9	14,7	37,8	66,2	53,0	88,3	264,8		132,4	44,1	16,6	22,1	12,6	1309,1
21	11,0	12,0	11,5	14,7	13,9	15,6	20,4	17,7	18,9	22,1	33,1	26,5	16,6	13,2	37,8	53,0	44,1	66,2	132,4	264,8		88,3	29,4	24,1	12,6	1057,1
22	11,5	12,6	11,0	18,9	13,9	16,6	24,1	20,4	17,7	29,4	33,1	22,1	14,7	13,2	26,5	53,0	66,2	44,1	132,4	88,3	264,8		37,8	15,6	12,0	735,8
23	11,0	12,0	11,5	13,9	12,6	14,7	18,9	16,6	15,6	22,1	24,1	20,4	17,7	13,2	26,5	33,1	37,8	44,1	53,0	88,3	132,4	264,8		66,2	29,4	491,0
24	11,0	11,5	12,0	12,6	13,2	13,9	14,7	15,6	16,6	17,7	18,9	20,4	24,1	26,5	37,8	33,1	22,1	66,2	44,1	132,4	88,3	29,4	53,0		264,8	632,8
25	11,5	11,0	12,6	12,0	13,9	13,2	14,7	15,6	17,7	16,6	18,9	22,1	26,5	44,1	33,1	29,4	20,4	53,0	37,8	66,2	88,3	24,1	132,4	264,8		542,1

Ausgleichsfaktor A beträgt für alle Quellen : $A = 0,2648 \cdot 10^{-3}$

Tabelle 8

Modellrechnungen auf Stufe 3

Punktmuster Hexagonal und Verzerrung ; Kovarianzen im Gesamtsystem unter den Empfangsmengenvariationen 31,32 sowie Einzelbetrachtungen unter Hexagonal für die Quellen 5, 8, 13

Kovarianzen im Gesamtsystem, mit Vorzeichen der 1. Ableitung der Entfernungsfunktion

	Hexagonal		Verzerrung	
	31	32	31	32
1	- 845,0	1008,9	- 726,7	812,6
2	- 780,4	1042,2	- 941,4	1092,4
3	- 759,8	1004,9	- 911,5	1054,0
4	- 866,7	1014,8	- 734,8	814,5
5	- 664,4	820,1	- 582,5	657,4
6	- 877,2	1184,5	-1135,8	1339,4
7	- 975,8	1144,9	-1144,1	1275,8
8	- 823,6	1101,5	-1111,2	1302,3
9	- 740,7	885,8	- 683,1	760,8
10	- 529,5	665,1	- 359,0	406,8
11	- 680,6	960,2	-1063,1	1248,7
12	-1007,9	1222,7	-1160,9	1301,7
13	- 988,9	1182,0	-1158,3	1295,8
14	- 728,5	994,2	-1076,5	1258,3
15	- 563,3	676,1	- 387,4	427,5
16	- 676,3	838,8	- 605,0	679,5
17	- 897,5	1215,5	-1145,2	1352,8
18	- 979,4	1159,3	-1147,8	1281,6
19	- 847,9	1142,6	-1129,4	1327,1
20	- 742,4	892,7	- 717,4	797,0
21	- 865,9	1028,0	- 690,1	761,6
22	- 737,5	980,4	- 873,5	1006,4
23	- 732,2	968,6	- 854,9	982,1
24	- 859,6	1006,2	- 657,7	719,7

Komponenten der Kovarianz für die Einzelquellen 5, 8, 12 unter Punktmuster Hexagonal - ohne Vorzeichenänderung

	Modellrechnung 31			Modellrechnung 32		
	5	8	12	5	8	12
1	-4749,3	1156,6	104,8	5157,3	-1272,8	-109,8
2	1173,4	433,1	233,6	-357,5	-163,7	-122,7
3	-1006,0	1552,5	-349,6	30,6	-586,8	183,7
4	2249,5	-3303,0	1909,2	-2442,8	3634,8	-2000,9
5		2486,5	-196,3		-2736,3	205,7
6	1709,9	201,5	1150,1	-520,9	-76,1	-604,3
7	2279,8	3719,6	2862,0	-3916,7	-6241,5	-485,8
8	-402,2		-16,3	122,5		8,6
9	3582,9	-3068,5	2134,5	-3890,7	3376,8	-2237,1
10	-4582,5	4051,3	405,3	-4976,2	-4458,3	-424,8
11	1810,3	-648,0	1274,9	-551,5	244,9	-669,9
12	3316,5	1001,9		-5697,7	-1681,1	
13	-414,7	4046,1	2303,3	712,5	-6789,3	-3910,0
14	-972,3	1475,5	-224,4	296,2	-557,7	118,0
15	5582,4	-799,3	3337,8	-6062,0	879,6	-3498,2
16	-2916,0	3581,9	-346,3	3166,6	-3941,8	363,0
17	670,6	-609,3	1274,9	-204,3	230,3	-670,0
18	310,8	349,6	3309,5	-533,9	-586,7	-5617,9
19	-871,6	587,4	67,0	265,5	-222,0	-35,2
20	4499,2	-486,6	1984,5	-4885,8	535,5	-2079,8
21	83,2	3660,2	179,5	-90,4	-4028,0	-188,2
22	-368,9	-1188,5	150,4	112,4	449,2	-79,0
23	-1108,8	-726,5	-350,3	337,0	274,0	183,7
24	4499,2	1469,3	1984,5	-4885,8	-1617,0	-2079,8

Tabelle 9

Modellrechnungen auf Stufe 3

Punktmuster Hexagonal und Verzerrung ; Variation der A-Werte (relativ)

Hexagonal Modellrechnung			Verzerrung Modellrechnung		
42 / 44	10	41 / 43	42 / 44	10	41 / 43
1 1,16	1,12	1,13	1,68	1,51	1,35
2 0,95	0,94	0,93	1,02	0,98	0,95
3 1,07	1,01	0,94	1,08	1,02	0,96
4 1,06	1,01	1,02	1,69	1,49	1,33
5 1,45	1,28	1,16	1,93	1,65	1,42
6 0,74	0,80	0,84	0,67	0,73	0,79
7 0,81	0,86	0,95	0,60	0,64	0,69
8 0,82	0,81	0,77	0,72	0,76	0,80
9 1,26	1,13	1,05	1,70	1,48	1,30
10 1,71	1,42	1,22	3,13	2,58	2,14
11 0,93	0,94	0,91	0,78	0,81	0,83
12 0,72	0,80	0,91	0,56	0,61	0,68
13 0,73	0,77	0,85	0,58	0,62	0,68
14 0,76	0,80	0,81	0,78	0,78	0,80
15 1,78	1,53	1,34	3,41	2,85	2,39
16 1,42	1,27	1,16	1,86	1,62	1,41
17 0,75	0,86	0,95	0,66	0,72	0,80
18 0,79	0,86	0,96	0,59	0,63	0,69
19 0,79	0,85	0,88	0,69	0,74	0,80
20 1,24	1,14	1,09	1,63	1,45	1,30
21 1,22	1,22	1,27	1,84	1,63	1,46
22 1,12	1,05	0,97	1,17	1,10	1,03
23 1,23	1,17	1,10	1,21	1,12	1,05
24 1,35	1,32	1,34	2,01	1,76	1,56

Punktmuster Verzerrung ; A-Werte (absolut)

Verzerrung Modellrechnung		
42 / 44	10	41 / 43
$0,254 \cdot 10^{-3}$	$0,277 \cdot 10^{-3}$	$0,302 \cdot 10^{-3}$
0,154	0,181	0,212
0,162	0,188	0,215
0,254	0,274	0,297
0,291	0,304	0,317
0,101	0,134	0,177
0,091	0,117	0,155
0,108	0,139	0,179
0,256	0,273	0,290
0,471	0,475	0,479
0,118	0,149	0,187
0,085	0,112	0,151
0,087	0,114	0,152
0,113	0,143	0,180
0,513	0,524	0,535
0,281	0,298	0,315
0,099	0,133	0,178
0,089	0,117	0,155
0,104	0,136	0,178
0,246	0,267	0,292
0,277	0,301	0,327
0,176	0,202	0,229
0,182	0,207	0,234
0,302	0,324	0,349

Tabelle 10

Modellrechnungen auf Stufe 3

Punktmuster Hexagonal ; Variation der B-Werte (relativ)

	Modellrechnung								
	43	22	44	31	10	32	41	21	42
1	1,17	1,16	1,15	1,13	1,13	1,12	1,16	1,14	1,14
2	0,96	0,96	0,98	0,95	0,97	0,97	0,94	0,95	0,97
3	1,09	1,08	1,08	1,04	1,04	1,02	0,98	0,98	0,99
4	1,10	1,06	1,02	1,05	1,03	1,01	1,08	1,05	1,04
5	1,42	1,41	1,38	1,27	1,23	1,19	1,13	1,12	1,10
6	0,74	0,75	0,75	0,79	0,81	0,82	0,84	0,84	0,85
7	0,84	0,84	0,85	0,88	0,91	0,93	1,00	0,99	1,02
8	0,83	0,83	0,82	0,82	0,82	0,81	0,79	0,79	0,79
9	1,29	1,26	1,24	1,17	1,13	1,10	1,07	1,06	1,05
10	1,66	1,64	1,59	1,42	1,33	1,28	1,18	1,16	1,13
11	0,92	0,93	0,94	0,93	0,91	0,90	0,88	0,87	0,85
12	0,72	0,73	0,75	0,80	0,83	0,87	0,93	0,94	0,97
13	0,75	0,74	0,76	0,79	0,82	0,84	0,90	0,90	0,93
14	0,78	0,78	0,79	0,81	0,81	0,81	0,82	0,81	0,80
15	1,79	1,77	1,75	1,57	1,52	1,47	1,36	1,35	1,35
16	1,37	1,37	1,33	1,24	1,19	1,15	1,10	1,09	1,05
17	0,73	0,75	0,76	0,83	0,86	0,88	0,93	0,93	0,93
18	0,79	0,80	0,81	0,85	0,89	0,92	0,97	0,98	1,01
19	0,80	0,81	0,81	0,84	0,85	0,86	0,86	0,87	0,87
20	1,23	1,22	1,21	1,14	1,11	1,09	1,05	1,06	1,04
21	1,20	1,18	1,15	1,20	1,19	1,19	1,28	1,26	1,26
22	1,06	1,09	1,10	1,01	1,00	1,01	0,90	0,94	0,96
23	1,19	1,21	1,21	1,14	1,12	1,12	1,03	1,06	1,06
24	1,31	1,29	1,26	1,29	1,28	1,28	1,34	1,33	1,32

Tabelle 11

Modellrechnungen auf Stufe 3

Punktmuster Verzerrung ; Variation der B-Werte (relativ)

	Modellrechnung								
	43	22	44	31	10	32	41	21	42
1	1,59	1,55	1,52	1,44	1,36	1,32	1,26	1,24	1,21
2	1,01	1,01	1,01	0,98	0,97	0,96	0,94	0,94	0,93
3	1,06	1,06	1,05	1,01	0,99	0,98	0,95	0,95	0,94
4	1,59	1,55	1,51	1,43	1,35	1,32	1,25	1,23	1,21
5	1,78	1,73	1,68	1,56	1,43	1,39	1,28	1,25	1,23
6	0,69	0,70	0,70	0,74	0,77	0,78	0,82	0,83	0,83
7	0,62	0,63	0,64	0,66	0,69	0,71	0,74	0,76	0,78
8	0,73	0,74	0,74	0,77	0,79	0,79	0,82	0,83	0,83
9	1,59	1,55	1,51	1,41	1,32	1,28	1,20	1,17	1,15
10	2,87	2,78	2,70	2,44	2,25	2,16	1,97	1,93	1,89
11	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,86
12	0,59	0,60	0,61	0,63	0,67	0,69	0,73	0,75	0,77
13	0,60	0,61	0,62	0,64	0,68	0,69	0,73	0,75	0,77
14	0,77	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81	0,83	0,83	0,84
15	3,16	3,07	2,99	2,72	2,53	2,45	2,25	2,21	2,17
16	1,72	1,67	1,63	1,52	1,40	1,36	1,27	1,24	1,21
17	0,68	0,69	0,69	0,74	0,77	0,78	0,82	0,83	0,84
18	0,62	0,63	0,64	0,66	0,69	0,71	0,74	0,76	0,78
19	0,71	0,71	0,72	0,75	0,78	0,79	0,82	0,83	0,83
20	1,53	1,49	1,46	1,39	1,30	1,27	1,20	1,18	1,16
21	1,71	1,67	1,62	1,55	1,46	1,42	1,36	1,33	1,30
22	1,13	1,12	1,11	1,07	1,04	1,03	0,99	0,98	0,97
23	1,17	1,16	1,15	1,10	1,06	1,05	1,00	0,99	0,99
24	1,87	1,82	1,77	1,68	1,57	1,54	1,45	1,42	1,40

Tabelle 12

Modellrechnungen auf Stufe 3

Punktmuster Hexagonal und Verzerrung ; Variation der relativen Versandentropien

	Hexagonal					Verzerrung				
	43	44	10	41	42	43	44	10	41	42
1	0,813	0,840	0,857	0,832	0,829	0,888	0,966	0,973	0,983	0,949
2	0,813	0,827	0,860	0,806	0,799	0,938	0,943	0,985	0,958	0,914
3	0,798	0,855	0,872	0,797	0,836	0,932	0,947	0,984	0,953	0,919
4	0,792	0,805	0,828	0,812	0,812	0,885	0,964	0,968	0,916	0,949
5	0,786	0,907	0,887	0,813	0,901	0,863	0,973	0,961	0,897	0,959
6	0,852	0,817	0,883	0,857	0,790	0,968	0,902	0,980	0,981	0,865
7	0,952	0,870	0,943	0,954	0,845	0,984	0,894	0,975	0,989	0,854
8	0,816	0,854	0,886	0,826	0,836	0,963	0,912	0,982	0,977	0,878
9	0,796	0,893	0,882	0,813	0,888	0,874	0,970	0,965	0,904	0,954
10	0,743	0,905	0,863	0,780	0,909	0,867	0,981	0,965	0,901	0,968
11	0,835	0,868	0,912	0,867	0,830	0,958	0,923	0,984	0,972	0,886
12	0,957	0,851	0,939	0,957	0,819	0,986	0,880	0,971	0,990	0,840
13	0,943	0,861	0,932	0,944	0,836	0,986	0,886	0,973	0,990	0,846
14	0,843	0,819	0,890	0,863	0,787	0,957	0,919	0,980	0,970	0,884
15	0,797	0,926	0,899	0,820	0,919	0,886	0,983	0,975	0,914	0,969
16	0,765	0,896	0,877	0,807	0,894	0,871	0,972	0,966	0,905	0,958
17	0,889	0,812	0,906	0,893	0,773	0,971	0,898	0,980	0,984	0,859
18	0,955	0,857	0,939	0,951	0,824	0,984	0,889	0,973	0,989	0,847
19	0,857	0,838	0,903	0,866	0,809	0,967	0,906	0,981	0,979	0,870
20	0,795	0,886	0,877	0,817	0,877	0,889	0,970	0,973	0,919	0,953
21	0,840	0,812	0,857	0,860	0,816	0,894	0,964	0,973	0,926	0,950
22	0,779	0,854	0,852	0,759	0,829	0,926	0,947	0,982	0,949	0,923
23	0,804	0,872	0,880	0,795	0,850	0,924	0,950	0,982	0,948	0,926
24	0,842	0,833	0,872	0,861	0,839	0,893	0,967	0,973	0,922	0,953
\bar{x}	0,836	0,856	0,887	0,848	0,839	0,927	0,937	0,975	0,951	0,911
s	0,062	0,033	0,030	0,057	0,040	0,044	0,034	0,007	0,034	0,045
ψ	0,074	0,039	0,034	0,068	0,047	0,047	0,037	0,007	0,035	0,050
max	0,957	0,926	0,943	0,957	0,919	0,986	0,983	0,985	0,990	0,969
min	0,743	0,805	0,828	0,759	0,773	0,863	0,880	0,961	0,897	0,840
range	0,214	0,121	0,115	0,198	0,146	0,123	0,103	0,024	0,093	0,129

Tabelle 13

Modellrechnungen auf Stufe 5

Punktmuster Hexagonal und Verzerrung ; unter Konkurrenzverhältnissen der Stufe 2 getrennt berechnete Einzelexponenten für k=5,11,17 sowie regional differenzierte Einzelexponenten für k=5,11 im Gesamttraum

VB	H e x a g o n a l						V e r z e r r u n g				
	Strategie lokal			Strategie gesamt			Strategie lokal			Strategie gesamt	
	k=5	k=11	k=17	k=5	k=17		k=5	k=11	k=17	k=5	k=11
1	0,772	0,084	-1,254	0,783	-0,083	2,044	0,839	-1,081	1,992	0,322	
2	0,744	0,154	-1,185	0,749	0,087	2,323	0,695	-0,583	2,484	0,246	
3	0,803	0,196	-1,255	0,788	0,089	2,399	0,726	-0,547	2,553	0,259	
4	0,722	0,095	-1,301	0,725	0,079	1,867	0,819	-0,683	1,876	0,319	
5	0,835	0,057	-1,178	0,832	0,080	2,215	0,420	-0,997	2,203	0,236	
6	0,823	0,094	-1,027	0,828	0,079	1,700	0,592	-0,561	1,853	0,204	
7	1,164	0,251	-1,208	0,099	1,134	1,571	0,517	-0,494	1,789	0,174	
8	0,813	0,077	-1,059	0,800	0,072	1,768	0,623	-0,491	1,914	0,213	
9	0,782	0,094	-1,186	0,772	0,078	1,928	0,737	-1,078	1,444	0,299	
10	0,823	0,054	-1,240	0,851	0,081	1,806	0,340	-1,232	1,544	0,217	
11	1,043	0,042	-1,031	1,065	0,073	1,763	0,700	-0,584	1,985	0,239	
12	1,077	0,224	-1,264	1,086	0,108	1,446	0,509	-0,985	1,656	0,177	
13	1,074	0,227	-1,224	1,063	0,105	1,537	0,520	-0,490	1,745	0,180	
14	0,870	0,029	-0,969	0,877	0,067	1,676	0,675	-0,539	1,877	0,233	
15	0,957	0,062	-1,193	0,964	0,083	2,306	0,336	-1,360	1,863	0,271	
16	0,778	0,045	-1,115	0,802	0,080	2,575	0,404	-1,504	2,586	0,239	
17	0,906	0,091	-1,296	0,922	0,083	1,707	0,589	-0,568	1,902	0,205	
18	1,194	0,178	-1,278	1,208	0,100	1,475	0,515	-0,550	1,677	0,180	
19	0,910	0,045	-1,173	0,930	0,077	1,732	0,611	-0,550	1,928	0,212	
20	0,779	0,038	-1,816	0,812	0,077	2,386	0,803	-1,073	2,310	0,324	
21	0,827	0,128	-1,591	0,853	0,096	2,135	0,889	-1,320	2,166	0,348	
22	0,776	0,105	-1,431	0,809	0,090	2,563	0,744	-0,677	2,784	0,273	
23	0,882	0,135	-1,478	0,910	0,097	2,619	0,657	-0,683	2,856	0,262	
24	0,874	0,122	-1,505	0,903	0,099	2,229	0,974	-1,402	2,323	0,384	

VB-AUSWAHL UND AUSWAHL DER VB-SCHWERPUNKTE

Tabelle 14

VB-Auswahl und Auswahl der VB-Schwerpunkte

Parameter der S.A.E. für die Beschäftigtenverteilung der Elektroindustrie ; Abweichung des gewählten VB-Schwerpunktes von dem Beschäftigtenschwerpunkt

VB-Nr.	Bezeichnung nach Statist. Bundesamt †	Ausgewählter VB-Schwerpunkt	Parameter der S.A.E.			Rel. Streuung F_r	Rel. Abstand des gewählten Schwerpunktes vom Besch.
			F	£	Y		
1	151 Mannheim	Mannheim	0,000	1,000	-51,760	1,00	0,06
2	152 Karlsruhe	Karlsruhe	0,236	0,988	43,695	0,97	0,15
3	153 Heidelberg	Heidelberg	3,238	0,897	19,812	0,77	0,14
4	161 Freiburg	Freiburg	4,696	0,992	71,773	0,64	0,21
5	162 Konstanz	Konstanz	7,962	0,828	-25,055	0,66	0,43
6	171 Heilbronn	Heilbronn	4,626	0,711	45,717	0,71	0,15
7	172 Stuttgart	Stuttgart	1,826	0,839	-30,185	0,53	0,02
8	173 Ulm	Ulm	2,324	0,944	75,531	0,68	0,21
9	174 Tübingen	Hechingen	7,796	0,828	73,671	1,03	0,06
10	175 Ravensburg	Ravensburg	5,631	0,900	-82,879	0,73	0,08
11	181 Aschaffenburg	Aschaffenburg	2,578	0,795	-44,833	0,68	0,09
12	182 Würzb./Schweinf.	Würzburg	5,621	0,899	71,053	0,61	0,37
13	183 Bayreuth/Bamberg	Bamberg	13,389	0,643	14,133	1,03	0,31
14	184 Nürnberg	Nürnberg	0,745	0,831	-73,643	0,30	0,07
15	185 Ansbach	Ansbach	5,233	0,935	-36,238	0,49	0,07
16	191 Landshut	Landshut	1,759	0,948	-67,712	0,40	0,11
17	192 Regensburg	Regensburg	9,728	0,734	-64,234	0,66	0,16
18	193 Passau/Straubing	Passau	9,866	0,764	-24,305	0,85	0,22
19	201 Ingolstadt	Ingolstadt	0,050	0,994	60,716	0,02	0,02
20	202 Augsburg	Augsburg	3,874	0,726	-8,464	0,37	0,05
21	203 Kempten/Kaufbeuren	Kempten	6,893	0,754	83,948	0,80	0,06
22	204 München	München	0,704	0,784	43,739	0,10	0,01
23	205 Garmisch-Partenk.	Garmisch-P.	7,541	0,895	2,557	1,09	0,31
24	206 Rosenheim	Rosenheim	4,588	0,592	-48,167	0,47	0,26

+ Quelle : Statistisches Bundesamt [231, p.335]

TEILVERKEHRAUSWAHL / ELEKTROTECHNISCHE INDUSTRIE

Tabelle 15

Fläche der VB; Betriebe und Beschäftigte der Elektrotechnischen Industrie 1970; Kennzahlen auf VB-Ebene

VB	Fläche [km ²]	Betriebe	Beschäftigte	Betr./100 km ²	%-Anteil d. Betr.	Besch./Betr.	Versand/Betr. [t]
1	458,3	32	21 898	6,98	2,42	684	1 442,0
2	1 174,1	51	24 392	4,34	3,85	478	1 709,1
3	3 155,4	33	11 028	1,04	2,49	334	534,2
4	5 355,2	86	20 125	1,61	6,49	234	481,4
5	4 588,9	75	17 285	1,63	5,66	230	526,5
6	3 979,3	44	11 875	1,11	3,32	270	164,2
7	3 755,4	243	94 418	6,47	18,34	389	681,1
8	3 048,9	36	22 545	1,18	2,72	626	2 843,5
9	4 703,7	86	17 238	1,83	6,49	200	470,6
10	5 394,2	36	6 566	0,67	2,72	182	489,1
11	2 185,6	10	1 954	0,46	0,75	195	823,2
12	6 301,0	29	13 475	0,46	2,19	465	797,3
13	7 497,3	74	18 240	0,99	5,58	246	1 175,6
14	2 031,1	121	83 106	5,96	9,13	687	1 661,8
15	5 593,9	23	7 448	0,41	1,74	324	2 086,3
16	3 256,6	19	7 947	0,58	1,43	418	155,7
17	9 644,0	50	23 883	0,52	3,77	478	667,0
18	7 503,2	33	9 036	0,44	2,49	274	693,2
19	1 953,0	10	3 069	0,51	0,75	307	414,9
20	5 549,2	34	13 009	0,61	2,57	383	981,0
21	4 629,7	26	7 048	0,56	1,96	271	319,5
22	5 591,7	141	74 503	2,52	10,64	528	269,6
23	3 629,7	10	504	0,27	0,75	50	291,5
24	5 362,9	23	9 584	0,43	1,74	417	1 967,1
Σ	106 342,2	1 325	520 176				
\bar{x}	4 430,9	55,2	21 674	1,73	4,17	361	901,9
s	2 099,6	51,4	24 661	1,99	3,88	160	687,2
v	0,47	0,93	1,14	1,15	0,93	0,44	0,76

Quellen : [44] , [228] , [230] , [231] , [232]

Tabelle 16

Regionaler Repräsentationsgrad des Sample,
geschätzte Produktivitätsfaktoren

VB	Erfaste Betriebe		Erfaste Beschäftigte		Produktivitäts- faktor
	absolut	%	absolut	%	
1	9	28	3 653	17	7,75
2	11	22	6 315	26	6,42
3	4	12	1 680	15	4,73
4	16	19	8 555	42	1,67
5	14	19	13 770	83	2,99
6	12	27	6 850	58	3,38
7	42	17	34 326	36	4,70
8	4	11	1 115	5	5,62
9	31	36	12 369	72	3,14
10	10	28	4 715	72	4,12
11	1	10	650	33	5,85
12	8	27	4 480	33	6,89
13	19	26	13 314	73	7,27
14	32	26	27 660	33	3,90
15	7	30	2 840	38	9,16
16	4	21	5 070	64	1,54
17	10	20	9 800	41	3,07
18	6	18	2 965	33	3,39
19	2	20	950	31	2,63
20	8	23	2 260	17	4,45
21	4	15	1 350	19	2,16
22	32	23	18 045	24	1,61
23	1	10	100	20	4,58
24	4	17	3 335	35	1,74
	291	(22)	186 167	(36)	
max		36		83	
min		10		5	
range		26		78	

In () angegebene Prozentwerte bezeichnen den Anteil der jeweils davor stehenden Summe an dem entsprechenden Wert für das Gesamtgebiet.

Quellen: [115] , [264] , [265]

Tabelle 17

1972 in der BRD in der Elektrotechnischen Industrie Beschäftigte und
Jahresproduktion je Beschäftigter nach Warenklassen

Nr. lt. Warenvz.	Warenklasse	Beschäftigte 1972	Jahresprod. je Beschäft. (t)
36 11	Elektromotoren und -generatoren	68 800	4,58
12	Transformatoren	23 670	8,82
13	Stromrichter	13 400	1,05
15	Akkumulatoren und -batterien	10 710	15,01
16	Primärelemente	2 390	8,54
17	Starkstromkondensatoren	4 320	1,86
36 21	Hochspannungsschaltgeräte u. anlagen ab 1000 V	17 570	4,43
22	Niederspannungsschaltgeräte u. anlagen unter 1000 V	59 180	2,57
23	Installationsgeräte bis 1000 V	30 380	3,96
24	Elektrohröhre	1 310	19,08
25	Isolierte Drähte und Leitungen	23 920	14,93
26	Kabel	25 110	18,58
27	Kabelgarnituren	2 650	7,17
28	Freileitungsarmaturen	1 310	9,40
29	Fahrleitungsarmaturen	1 280	5,72
36 31	Elektrowerkzeuge bis 2 kW	12 190	1,41
32	Elektroschweißgeräte	6 220	2,86
33	Elektrochem. u. -physik. Geräte u. Einricht.	5 120	3,41
34	Elektrische Industrieöfen	6 410	3,95
36	Elektrowärmegeräte	35 160	11,35
37	Elektromotorische Wirtschaftsgeräte	21 790	4,98
38	Elektrische Haushaltskühlmöbel	16 050	11,18
39	Elektrische Hausaltwaschmaschinen	17 860	10,35
36 41	Elektrische Leuchten	24 930	5,51
44	Elektrische Glühlampen	11 550	1,80 x
47	Entladungslampen	7 080	1,80 x
36 51	Geräte und Einrichtungen der Drahtnach- richtentechnik	74 160	1,29
53	Ger. u. Einr. der Funknachrichtentechnik	24 380	0,34
55	Elektrische Zeitdienstgeräte	850	1,57
57	Elektrische Signal- und Sicherheitsgeräte	9 920	2,16
36 61	Rundfunk- u. Fernsehhempfangsgeräte,...	75 090	2,22
63	Phonotechnische Geräte	29 130	3,00 x
65	Elektronen- u. Spezialröhren, Kristalle u. Halbleiter	22 920	0,04
67	Bauelemente d. Fernmelde- u. Hochfrequenz- technik	49 760	1,09
36 71	Elektrische Meßgeräte	35 090	0,63
73	Elektrizitätszähler	6 410	0,93
75	Elektrische Prüfer. u. Untersuch.einr.	4 680	0,40
77	Elektr. Regel- u. Steuerungseinr.	40 860	0,86
36 81	Elektromed. Geräte u. Einrichtungen	16 750	0,80
82	Elektrokohlen und -bürsten	7 580	15,03
83	Elektrotechn. Fertigerzgn. Isolierzwecke	1 600	4,40
84	Elektrische Industriebahnfahrzeuge	430	1,98
86	Elektrische Ausrüst. f. Kfz. u. Motoren	49 640	4,01
87	Elektr. Ausrüst. f. Luftfahrzeuge	980	0,08
88	Elektromagnetische Geräte	6 010	2,62
89	Sonstige elektrotechnische Erzeugnisse	2 040	2,51

x : kennzeichnet Schätzungen

Quellen : [227] , [229] , [267]

Tabelle 18

Güterverkehr mit der Abteilung 9 (ohne HGR 99) innerhalb Süddeutschlands ;
Aufgliederung des Versands der VB auf die Hauptgütergruppen in Prozent

VB	Hauptgütergruppen							
	91	92	93	(931)	94	95	96	97
1	5	2	11	4,5	24	19	1	38
2	5	0	16	11,4	15	2	2	60
3	3	0	5	2,2	42	3	6	41
4	12	0	9	3,8	19	9	5	47
5	2	6	8	4,6	20	1	8	55
6	24	0	4	1,6	20	9	3	40
7	11	0	15	6,3	23	2	5	43
8	7	0	19	11,2	25	1	7	41
9	3	0	12	4,5	15	1	13	55
10	3	1	8	2,0	8	21	5	53
11	2	0	2	1,3	4	7	12	72
12	8	0	9	4,4	27	5	3	50
13	2	0	8	7,4	13	15	12	49
14	7	1	20	14,9	19	4	3	46
15	1	0	13	9,7	14	16	0	55
16	36	0	3	3,0	7	19	0	35
17	2	0	6	4,1	12	41	2	38
18	3	0	6	4,8	6	2	3	80
19	34	0	8	4,3	24	0	0	33
20	3	3	9	2,7	20	13	8	44
21	2	5	13	2,8	4	1	8	67
22	20	1	9	3,7	23	3	2	42
23	1	0	1	0,9	2	0	0	96
24	2	0	9	7,5	9	1	2	76

Quellen: [44] , [231]

ORIGINALMATRIX SÜD GESAMT, GGR 931, 1972

Tabelle 19

Verkehr mit der Gütergruppe 931 innerhalb Süddeutschlands im Jahre 1972

Originalmatrix ohne Binnenverkehr, aus Addition von Teilmatrizen für Bahn und LKW gewonnen

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	818	750	1792	730	117	1877	250	128	582	108	267	130	786	88	45	205	42	0	249	272	805	77	152	
2	697	1542	3847	1216	408	3732	817	2056	630	51	206	142	72	5968	197	83	344	231	186	653	152	3950	44	29
3	168	180	277	97	245	346	55	267	51	206	212	78	172	98	0	103	0	4	752	37	252	0		
4	1094	773	222	49	3704	222	4779	779	440	435	45	306	570	69	29	33	30	271	304	334	2923	0	336	0
5	1144	164	49	1753	35	1312	143	332	1772	0	0	0	0	0	0	453	155	0	846	24	1736	0		0
6	109	416	248	847	38	828	315	311	143	47	23	41	92	46	124	81	36	0	305	21	386	0	100	
7	2047	2025	1603	3759	1966	1661	204	421	3874	68	124	583	5138	4211	163	291	689	324	1621	2730	9699	108	1365	
8	1858	951	0	590	254	81	3539	384	384	0	175	292	5180	60	0	42	26	27	14794	463	5539	31	48	
9	869	190	85	1929	206	242	1585	264	717	7	23	289	5	198	10	49	24	8	303	98	1442	0	247	
10	91	27	21	137	2895	100	1082	247	60	0	0	0	73	713	102	7	557	225	8	41	110	195	14	5
11	242	703	88	35	0	7	125	201	40	10	385	16	1655	42	5	13	83	0	29	57	67	139	10	14
12	1089	2322	537	237	432	3447	343	440	6	188	786	216	1991	180	116	4191	903	247	575	357	4022	11	626	
13	2618	3191	624	386	1313	611	5511	678	3662	165	1313	4389	7723	1191	1191	645	5557	2705	3147	793	11179	196	1321	
14	838	98	0	819	236	3	2182	21	107	43	69	2	3156	11	532	43	0	892	121	1384	0	1045		
15	16	0	16	0	4	0	46	36	45	0	73	64	59	26	312	164	527	16	0	40	399	22	253	
16	321	77	115	573	311	165	834	108	43	84	168	60	445	2291	335	1087	6415	405	1151	39	1834	185	254	
17	120	25	57	478	136	0	2282	206	89	44	53	0	85	1406	209	639	4721	5	47	0	1765	35	61	
18	74	0	0	0	0	3	27	24	46	0	36	0	397	444	4	96	270	369	169	32	1082	81	327	
19	481	308	5	355	1096	47	1358	694	101	433	74	62	300	572	65	33	115	97	319	1677	1599	225	1124	
20	49	9	0	0	10	18	2172	74	0	63	21	17	24	29	0	5	0	11	152	87	679	80	15	
21	234	1332	168	107	133	18	1370	760	35	175	224	168	272	259	0	48	2143	1574	1732	1510	49	421	838	
22	0	0	0	367	4	0	36	0	80	0	0	0	290	0	18	0	0	241	690	49	421	6	702	
23	1339	336	0	0	0	57	3775	198	138	7	0	16	40	3208	0	37	394	190	60	346	86	4942		

Zugehörige Präferenzmatrix

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	2,02	4,50	2,99	1,89	1,95	1,26	0,95	0,78	0,34	2,09	0,86	1,33	0,41	0,62	0,41	0,52	0,57	0,10	0,00	0,31	1,10	0,53	1,45	0,49
2	0,61	1,16	1,31	0,77	1,36	0,95	0,96	0,50	2,12	0,54	0,87	3,11	0,72	0,09	1,79	0,35	0,36	0,25	0,21	0,47	0,51	0,23	0,38	0,31
3	1,48	1,11	1,11	0,77	1,36	0,95	0,96	0,50	2,12	0,54	0,87	3,11	0,72	0,09	1,79	0,35	0,36	0,25	0,21	0,47	0,51	0,23	0,38	0,31
4	2,76	0,42	0,30	3,09	1,77	1,05	1,87	0,14	1,00	0,88	0,21	1,04	0,23	0,19	0,20	0,19	0,20	0,19	0,20	0,19	0,20	0,19	0,20	0,19
5	0,61	2,46	3,57	3,32	0,17	0,00	0,91	0,46	0,90	0,52	0,00	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,13	0,00	0,13	0,00	0,13	0,00	0,13	0,00
6	0,88	0,92	1,77	1,16	0,93	2,49	1,60	2,01	1,42	0,90	0,27	0,31	0,18	0,52	0,36	0,35	0,10	0,31	0,40	0,37	0,24	0,69	0,37	0,82
7	1,11	0,76	0,00	0,32	0,21	0,21	3,10	2,47	2,55	0,10	0,11	0,34	0,13	0,64	0,09	0,00	0,03	0,02	0,06	0,00	0,38	0,46	0,96	0,00
8	2,05	0,40	0,10	0,19	0,34	1,121	1,08	0,83	2,59	0,35	0,51	0,02	1,43	0,53	0,53	0,72	1,62	0,81	0,08	0,08	0,67	0,19	0,39	0,02
9	0,02	0,10	0,10	0,19	0,34	1,121	1,08	0,83	2,59	0,35	0,51	0,02	1,43	0,53	0,53	0,72	1,62	0,81	0,08	0,08	0,67	0,19	0,39	0,02
10	0,02	0,10	0,10	0,19	0,34	1,121	1,08	0,83	2,59	0,35	0,51	0,02	1,43	0,53	0,53	0,72	1,62	0,81	0,08	0,08	0,67	0,19	0,39	0,02
11	0,02	0,10	0,10	0,19	0,34	1,121	1,08	0,83	2,59	0,35	0,51	0,02	1,43	0,53	0,53	0,72	1,62	0,81	0,08	0,08	0,67	0,19	0,39	0,02
12	1,05	0,00	0,20	0,07	0,00	0,56	0,98	0,77	0,73	0,16	1,79	1,35	3,46	0,21	2,19	7,49	7,60	1,63	0,05	0,05	0,00	0,72	2,09	0,50
13	1,44	2,56	1,44	0,84	0,27	1,57	1,04	0,48	0,53	0,08	1,51	1,08	1,31	0,61	0,11	0,86	3,86	1,98	3,02	1,91	0,51	1,20	0,00	0,06
14	1,71	0,21	0,00	1,20	0,54	0,02	1,29	0,06	0,25	0,13	2,38	1,62	0,84	0,28	0,11	0,86	3,86	1,98	3,02	1,91	0,51	1,20	0,00	0,06
15	1,00	0,20	0,00	0,00	0,05	0,00	1,16	0,57	0,62	0,08	0,18	0,18	0,22	0,13	0,08	0,55	0,55	0,55	0,55	0,56	0,46	1,05	0,53	0,62
16	0,45	0,11	0,41	0,35	0,48	0,81	0,34	0,20	0,97	0,18	0,18	0,18	0,22	0,13	0,08	0,55	0,55	0,55	0,55	0,56	0,46	1,05	0,53	0,62
17	0,23	0,05	0,28	0,66	0,29	0,00	1,28	0,53	0,62	0,18	0,18	0,18	0,22	0,13	0,08	0,55	0,55	0,55	0,55	0,56	0,46	1,05	0,53	0,62
18	0,59	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,88	0,49	0,53	0,24	1,38	0,80	0,80	0,25	0,07	0,00	0,17	0,00	0,17	0,00	0,17	0,00	0,17	0,00
19	0,34	0,09	0,05	0,53	0,58	0,44	0,38	0,65	0,50	0,24	0,38	0,28	0,28	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
20	0,34	0,09	0,05	0,53	0,58	0,44	0,38	0,65	0,50	0,24	0,38	0,28	0,28	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
21	0,34	0,09	0,05	0,53	0,58	0,44	0,38	0,65	0,50	0,24	0,38	0,28	0,28	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16	0,16
22	0,60	0,00	0,40	0,08	0,15	0,07	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,96	0,00	0,96	0,00	0,96	0,00	0,96	0,00	0,96	0,00	0,96
23	1,00	0,00	0,40	0,08	0,15	0,07	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,72	0,00	1,72	0,00	1,72	0,00	1,72	0,00	1,72	0,00	1,72
24	2,11	0,56	0,00	0,41	0,01	0,51	1,71	0,41	0,25	0,02	0,00	0,05	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08

Tabelle 20

Approximation des Verkehrs mit Gütergruppe 931 auf Stufe 2

Überführung der Originalmatrix auf Stufe 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1		79	206	107	61	43	38	38	19	78	22	55	30	22	22	18	21	4	0	11	52	17	45	13
2	25		193	105	47	68	35	56	133	38	48	13	8	76	23	15	11	10	21	13	13	38	12	1
3	34	44		42	21	230	18	21	99	17	107	111	46	12	63	0	19	0	3	82	18	14	0	0
4	66	56	46		235	62	73	9	70	42	7	17	99	11	13	9	0	2	50	10	54	47	0	22
5	131	23	19	151		18	38	31	67	337	0	0	0	6	0	0	46	21	0	52	7	53	0	0
6	21	96	165	123	6		41	78	109	46	23	11	23	6	28	121	14	8	0	31	10	20	0	21
7	26	31	69	35	26	96		128	114	81	2	4	21	23	168	10	3	10	13	11	82	19	10	18
8	92	57	0	22	13	19	45		35	77	0	10	42	43	9	0	2	2	4	391	55	70	11	3
9	99	26	33	166	25	128	46	57		136	13	30	2	71	40	2	4	3	0	18	27	44	0	30
10	12	4	10	14	405	61	37	62	15		8	99	30	33	43	5	66	36	3	3	35	7	14	1
11	1	264	93	8	0	10	14	118	0	5		310	14	54	41	0	3	9	0	5	12	11	23	5
12	40	0	10	3	0	28	33	42	44	18	391		151	96	28	4	9	16	10	5	27	43	0	2
13	46	118	78	10	11	84	37	27	34	0	20	86		29	24	31	158	46	32	13	36	45	3	28
14	29	42	24	28	8	31	27	14	61	3	37	125	245		41	36	54	36	56	18	21	32	16	15
15	104	15	0	77	31	2	69	5	24	9	152	22	1	137		7	59	6	0	59	36	46	0	139
16	0	6	0	0	1	0	4	21	26	0	59	52	54	3	312		46	200	16	0	30	33	51	85
17	13	4	17	11	14	32	9	9	3	6	18	7	54	34	45	231		323	52	26	4	20	57	11
18	10	3	17	30	12	0	49	33	14	6	11	0	21	41	55	273	355		1	2	0	39	22	5
19	25	0	0	0	0	4	2	14	27	0	29	0	34	49	4	154	76	140		29	24	91	187	111
20	31	24	1	17	75	14	23	85	12	47	12	10	57	13	13	11	7	8	64		263	28	107	78
21	20	4	0	0	4	34	225	57	0	43	22	18	28	4	0	10	0	5	190	19		73	237	6
22	8	53	19	3	5	3	12	47	2	10	19	14	26	53	27	0	1	85	160	30	120		201	103
23	0	0	0	12	0	4	0	59	0	0	0	0	41	0	41	0	37	0	301	149	48	45		303
24	170	52	0	35	1	33	123	48	32	1	0	5	15	143	0	24	45	29	24	26	166	6		

Zugehörige Präferenzmatrix

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1		1,81	4,74	2,47	1,41	0,99	0,88	0,86	0,43	1,79	0,51	1,27	0,69	0,50	0,51	0,42	0,48	0,09	0,00	0,24	1,20	0,39	1,03	0,30
2	0,58		4,43	2,41	1,07	1,57	0,79	1,29	3,06	0,87	1,10	0,31	0,17	1,74	0,52	0,35	0,26	0,23	0,48	0,29	0,30	0,87	0,27	0,03
3	0,78	1,01		0,97	0,48	5,28	0,41	0,49	2,28	0,40	2,46	2,56	1,05	0,28	1,45	0,00	0,43	0,00	0,06	1,88	0,42	0,31	0,00	0,00
4	1,51	1,29	1,06		5,41	1,42	1,69	0,21	1,62	0,98	0,16	0,38	2,28	0,24	0,30	0,20	0,01	0,05	0,16	0,22	1,24	1,07	0,00	0,50
5	3,00	0,52	0,44	3,47		0,43	0,88	0,71	1,55	7,75	0,00	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	1,06	0,49	0,00	1,19	0,15	1,21	0,00	0,00
6	0,48	2,22	3,78	2,82	0,13		0,93	1,80	2,52	1,05	0,53	0,26	0,52	0,14	0,65	2,78	0,32	0,19	0,00	0,72	0,22	0,45	0,00	0,47
7	0,59	0,70	1,59	0,82	0,59	2,21		2,95	2,62	1,86	0,05	0,09	0,49	0,52	3,85	0,24	0,07	0,24	0,29	0,25	1,89	0,44	0,23	0,42
8	2,11	1,31	0,00	0,51	0,31	0,43	1,03		0,80	1,78	0,00	0,22	0,96	0,99	0,22	0,00	0,04	0,04	0,09	8,99	1,27	1,61	0,26	0,06
9	2,28	0,60	0,77	3,81	0,57	2,93	1,06	1,31		3,13	0,29	0,69	0,04	1,63	0,92	0,05	0,09	0,08	0,00	0,43	0,62	1,00	0,00	0,69
10	0,28	0,10	0,22	0,31	9,31	1,41	0,84	1,42	0,33		0,18	2,28	0,70	0,76	0,99	0,11	1,51	0,82	0,08	0,07	0,81	0,16	0,31	0,02
11	0,01	6,06	2,15	0,19	0,00	0,23	0,32	2,72	0,00	0,12		7,13	0,33	1,24	0,95	0,00	0,08	0,20	0,00	0,11	0,28	0,26	0,52	0,11
12	0,92	0,00	0,24	0,07	0,00	0,65	0,76	0,96	1,01	0,42	9,00		3,48	2,20	0,64	0,10	0,21	0,38	0,22	0,12	0,61	0,99	0,00	0,04
13	1,06	2,72	1,80	0,24	0,24	1,94	0,86	0,63	0,78	0,01	0,47	1,98		0,68	0,56	0,72	3,63	1,05	0,74	0,30	0,83	1,04	0,08	0,65
14	0,66	0,97	0,54	0,64	0,19	0,71	0,62	0,32	1,41	0,07	0,85	2,87	5,64		0,95	0,83	1,25	0,82	1,29	0,42	0,48	0,75	0,36	0,36
15	2,39	0,34	0,00	1,77	0,71	0,04	1,59	0,11	0,56	0,20	3,49	0,51	0,02	3,16		0,16	1,36	0,15	0,00	1,36	0,83	1,05	0,00	3,19
16	0,00	0,14	0,00	0,00	0,03	0,00	0,09	0,49	0,60	0,00	1,36	1,20	1,24	0,07	7,19		1,06	4,59	0,36	0,00	0,70	0,77	1,17	1,96
17	0,31	0,09	0,38	0,26	0,32	0,74	0,21	0,20	0,08	0,13	0,42	0,15	1,24	0,77	1,03	5,32		7,44	1,21	0,59	0,09	0,47	1,30	0,26
18	0,23	0,06	0,38	0,70	0,28	0,00	1,13	0,75	0,32	0,14	0,26	0,00	0,48	0,95	1,26	6,29	8,16		0,03	0,05	0,00	0,91	0,50	0,13
19	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,05	0,33	0,61	0,00	0,67	0,00	0,78	1,13	0,09	3,55	1,75	3,23		0,66	0,56	2,09	4,31	2,54
20	0,72	0,56	0,03	0,40	1,73	0,32	0,52	1,96	0,28	1,08	0,28	0,24	1,30	0,30	0,31	0,25	0,15	0,17	1,47		6,04	0,63	2,46	1,79
21	0,46	0,10	0,00	0,00	0,10	0,78	0,58	1,31	0,00	0,98	0,50	0,41	0,65	0,09	0,00	0,24	0,00	0,12	4,38	0,43		1,68	5,45	0,15
22	0,18	1,22	0,44	0,06	0,11	0,06	0,26	1,09	0,05	0,22	0,43	0,33	0,60	1,23	0,62	0,00	0,03	1,95	3,68	0,70	2,75		4,63	2,37
23	0,00	0,00	0,00	0,27	0,00	0,00	0,09	0,00	1,36	0,00	0,00	0,00	0,00	0,95	0,00	0,85	0,00	0,00	6,93	3,44	1,10	1,04		6,98
24	3,91	1,19	0,00	0,81	0,01	0,77	2,82	1,09	0,74	0,03	0,00	0,12	0,34	3,28	0,00	0,55	1,03	0,67	0,54	0,54	0,61	3,83	0,13	

Entropie (relativ)

Versand	Empfang
0,878	0,820
0,861	0,794
0,808	0,704
0,837	0,789
0,690	0,564
0,837	0,805
0,847	0,865
0,711	0,774
0,836	0,788
0,723	0,722
0,645	0,584
0,693	0,714
0,896	0,815
0,870	0,886
0,811	0,703
0,703	0,526
0,728	0,704
0,652	0,639
0,765	0,578
0,825	0,712
0,696	0,691
0,795	0,889
0,570	0,481
0,800	0,626

Gruppierung der Versand-entropien

0,570 - 0,750	5, 8, 10, 11, 12 16, 17, 18, 21, 23
0,751 - 0,840	3, 4, 6, 9, 15 19, 20, 22, 24
0,841 - 0,900	1, 2, 7, 13, 14

Tabelle 21

Verkehr mit der Gütergruppe 931 innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972

Versand- und Empfangsmengen in Tonnen

VB	Versand	Rang	Stand.	Empfang	Rang	Stand.	Versand	Empfang
			Wert			Wert		
1	10 366	13	-0,325	15 484	7	-0,000	0,669	
2	27 462	4	0,761	13 964	9	-0,113	1,967	
3	3 600	19	-0,755	6 131	19	-0,695	0,587	
4	17 509	7	0,128	21 220	5	-0,426	0,825	
5	10 065	15	-0,344	13 962	10	-0,113	0,721	
6	4 447	18	-0,703	4 509	22	-0,815	0,986	
7	50 410	2	2,218	47 119	2	2,349	1,070	
8	32 274	3	1,066	10 967	14	-0,336	2,943	
9	10 284	14	-0,330	13 907	11	-0,154	0,739	
10	6 900	16	-0,537	10 236	15	-0,390	0,674	
11	2 401	23	-0,831	4 592	21	-0,808	0,523	
12	5 685	17	-0,622	7 108	18	-0,604	0,800	
13	23 403	5	0,503	11 200	12	-0,321	2,089	
14	66 425	1	3,235	37 479	3	1,672	1,772	
15	12 078	11	-0,216	7 539	17	-0,584	1,602	
16	2 102	24	-0,850	3 175	23	-0,914	0,662	
17	17 080	8	0,101	17 784	6	0,208	0,960	
18	12 459	10	-0,192	14 841	8	-0,038	0,839	
19	3 121	21	-0,785	5 531	20	-0,740	0,564	
20	11 140	12	-0,276	29 038	4	0,988	0,384	
21	3 515	20	-0,760	9 037	16	-0,477	0,389	
22	20 683	6	0,330	53 674	1	2,798	0,385	
23	2 565	22	-0,821	2 051	24	-1,004	1,251	
24	15 546	9	0,004	10 972	13	-0,335	1,417	
\bar{x}	15 485,25			15 485,25				
s	15 746,15			13 464,09				
v	1,02			0,87				
max	66 425			53 154				
min	2 102			1 963				
range	64 326			51 191				

Aufteilung des Versands und Empfangs auf die Verkehrsträger

VB	Gesamt	Bahn	%	LKW	%	Gesamt	Bahn	%	LKW	%
1	10 366	2 203	21	8 163	79	15 484	5 847	38	9 637	62
2	27 462	2 462	9	24 977	91	13 964	3 558	25	10 406	75
3	3 600	164	5	3 436	95	6 131	804	13	5 327	87
4	17 509	607	3	16 902	97	21 220	4 699	22	16 521	78
5	10 065	1 985	20	8 080	80	13 962	1 977	14	11 985	86
6	4 447	117	3	4 330	97	4 509	386	9	4 123	91
7	50 410	7 335	15	43 075	85	47 119	10 292	22	36 827	78
8	32 274	22 833	71	9 441	29	10 967	1 107	10	9 860	90
9	10 284	1 325	13	8 959	87	13 907	2 310	17	11 597	83
10	6 900	63	1	6 837	99	10 236	204	2	10 032	98
11	2 401	702	29	1 699	71	4 592	1 843	40	2 749	60
12	5 685	1 170	21	4 515	79	7 108	563	9	6 545	92
13	23 403	1 841	8	21 562	92	11 200	403	4	10 797	96
14	66 425	13 832	21	52 593	79	37 479	10 274	27	27 205	73
15	12 078	8 541	71	3 537	29	7 539	592	8	6 947	92
16	2 102	529	25	1 573	75	3 175	466	15	2 709	85
17	17 080	2 411	14	14 669	86	17 784	2 784	16	15 000	84
18	12 459	237	2	12 222	98	14 841	887	6	13 954	94
19	3 121	73	2	3 048	98	5 531	701	13	4 830	87
20	11 140	2 060	19	9 080	81	29 038	14 855	51	14 183	49
21	3 515	8	0	3 507	100	9 037	724	8	8 313	92
22	20 683	836	4	19 847	96	53 674	14 995	28	38 679	72
23	2 565	36	1	2 529	99	2 051	275	13	1 776	87
24	15 546	11 358	73	4 188	27	10 972	2 205	20	8 767	80
	371 520	82 751	22	288 769	78	371 520	82 751	22	288 769	78

Tabelle 22

Verkehr mit der Gütergruppe 931 innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972

Klassifizierung der fünf ersten Versandziele nach Nachbarn n-ter Ordnung

VB	Fünf erste Versandziele in Reihenfolge					Anzahl der Nachbarn n-ter Ordnung						Z	Ziele im Nachbarland mit Z ohne Z	
						1.	2.	3.	4.	5.	6.			
1	7 ²	4 ²	2 ¹	22 ⁵	14 ⁴	1	2/1		1/1	1/1		3	2	0
2	14 ⁴	22 ¹	4 ¹	7 ¹	9 ¹	3/1			2/2			3	2	0
3	20 ³	7 ¹	4 ²	9 ²	22 ⁴	1/1	2	1	1/1			2	2	1
4	7 ²	5 ¹	22 ¹	1 ²	2 ¹	2	2/1		1/1			2	1	0
5	10 ¹	4 ¹	22 ³	7 ²	1 ³	2	1/1	2/1				2	1	0
6	4 ³	7 ¹	2 ²	22 ³	9 ²	1/1	2	2/1				2	1	0
7	22 ³	8 ¹	14 ³	9 ¹	15 ²	2	1	2/2				2	3	1
8	20 ¹	22 ¹	7 ¹	14 ²	1 ³	2/1	2/2	1				3	3	1
9	4 ¹	14 ⁴	7 ¹	22 ³	1 ²	2/1	1	1/1	1/1			3	2	0
10	5 ¹	7 ¹	22 ²	9 ¹	20 ¹	4/1	1/1					2	2	1
11	2 ²	14 ³	12 ¹	8 ³	7 ²	1	2/1	2/1				2	3	2
12	14 ¹	22 ³	11 ¹	7 ²	13 ¹	2	2/2	1/1				3	1	0
13	17 ¹	22 ³	7 ³	2 ³	14 ¹	2/1		3/2				3	2	1
14	22 ³	7 ³	13 ¹	17 ¹	12 ²	2	1	2/2				2	1	0
15	14 ¹	7 ²	22 ²	24 ³	20 ¹	2/1	2/2	1				3	1	0
16	18 ¹	22 ¹	15 ²	24 ¹	17 ¹	4/1	1					1	0	0
17	18 ¹	14 ¹	22 ²	20 ³	16 ¹	3/1	2/1					2	0	0
18	17 ¹	7 ¹	22 ¹	14 ²	16 ¹	2	2/2	1/1				3	1	0
19	22 ¹	14 ²	18 ²	24 ²	17 ¹	2/1	3/1					2	0	0
20	21 ¹	22 ¹	7 ²	24 ²	5 ²	2/1	3/1					2	2	1
21	7 ²	22 ¹	19 ²	20 ¹	23 ¹	3/1	2/1					2	1	0
22	14 ³	24 ¹	18 ¹	20 ¹	19 ¹	3	1	1/1				1	0	0
23	24 ¹	20 ¹	22 ¹	14 ¹	19 ²	2/1	2		1/1			2	0	0
24	22 ¹	7 ⁴	14 ³	1 ⁶	17 ²	1/1	1	1/1	1/1		1	3	2	1

12³ := 12 ist Nachbar 3. Ordnung

Z := Zentren (VB 7, 14, 22)

2/1 := 2 Nachbarn n-ter Ordnung, davon 1 Zentrum

Tabelle 23

Verkehr mit der Gütergruppe 931 innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972

Durchschnittliche Transportweiten ; real und auf Stufe 1 (in km)

VB	Versand			Empfang		
	TD_v	$TD1_v$	$\frac{TD1_v}{TD_v}$	TD_e	$TD1_e$	$\frac{TD1_e}{TD_e}$
1	212	267	1,26	241	245	1,02
2	197	234	1,19	208	226	1,09
3	200	243	1,21	132	224	1,69
4	253	317	1,25	246	314	1,28
5	219	272	1,24	202	276	1,37
6	162	197	1,22	126	180	1,43
7	167	201	1,20	193	191	0,99
8	119	160	1,34	128	167	1,31
9	195	223	1,14	169	219	1,30
10	154	224	1,45	173	228	1,31
11	184	263	1,43	180	240	1,33
12	163	224	1,37	127	201	1,58
13	228	247	1,08	126	230	1,82
14	181	205	1,13	185	198	1,07
15	157	178	1,13	142	163	1,15
16	146	221	1,51	143	231	1,61
17	149	222	1,49	146	218	1,49
18	227	315	1,39	188	317	1,69
19	119	174	1,46	130	174	1,34
20	154	176	1,14	126	176	1,40
21	171	207	1,21	176	216	1,23
22	163	216	1,32	206	218	1,06
23	160	252	1,57	175	270	1,54
24	223	249	1,12	196	272	1,39
\bar{x}	179	229	1,29	169	225	1,35
s	35	40	0,14	37	42	0,22
v	0,19	0,17	0,11	0,22	0,19	0,16
range	134	157	0,49	120	154	0,84

Gruppierung	Versand	Gruppierung	Empfang
1,05 - 1,18	9,13,14,15,20,24	0,99 - 1,18	1, 2, 7,14,15,22
1,19 - 1,30	1, 2, 3, 4, 5 6, 7,21	1,19 - 1,44	4, 5, 6, 8, 9,10 11,19,20,21,24
1,31 - 1,42	8,12,18,22	1,45 - 1,65	12,16,17,23
1,43 - 1,57	10,11,16,17,19 23	1,66 - 1,82	3,13,18

Tabelle 24

Lineare Regression ; Gesamtversand in Abhängigkeit von den Beschäftigten

$y = b \cdot x + a$ y : Gesamtversand der VB mit Elektrotechnischen
 Gütern im Jahre 1972 (einschl. Binnenverkehr)
 x : Beschäftigte der Elektrotechnischen Industrie
 in 1970/72 je VB

Ergebnis $a = 12\,505,208$ $b = 1,583$ $r^2 = 0,795$ $r^2 = 0,633$ $s_e = 30\,390,711$ Ausgangswerte und standardisierte Residuen

VB	x	y	y _{gesch}	y _{gesch} -y	$\frac{y_{\text{gesch}}-y}{s_e}$	$\frac{y_{\text{gesch}}-y}{y} \cdot 100$
1	21898	46191	47172	981	0,033	2,12
2	24392	87166	51121	-36045	-1,211	-41,35
3	11028	17630	29963	12333	0,414	69,95
4	20125	41405	44365	2960	0,099	7,15
5	17285	39491	38869	- 622	-0,021	- 1,57
6	11875	7227	31305	24078	0,809	333,17
7	94418	165479	161980	- 3499	-0,118	- 2,11
8	22545	102367	48197	-54170	-1,821	-52,92
9	17238	40474	39795	- 679	-0,023	- 1,68
10	6566	17608	22900	5292	0,178	30,05
11	1954	8232	15598	7366	0,247	89,48
12	13475	23123	33838	10715	0,360	46,34
13	18240	86998	41381	-45617	-1,533	-52,43
14	83106	201084	144072	-57012	-1,916	-28,35
15	7448	47984	24296	-23688	-0,796	-49,37
16	7947	2959	25086	22127	0,744	747,78
17	23883	33349	50315	16966	0,570	50,87
18	9036	22875	26810	3935	0,132	17,20
19	3069	4149	17364	13215	0,444	318,51
20	13009	33355	33100	- 255	-0,008	- 7,64
21	7048	8308	23663	15355	0,516	184,82
22	74503	38012	130452	92440	3,107	243,19
23	504	2915	13303	10388	0,349	356,36
24	9584	45244	27678	-17566	-0,590	-38,82

 s_e : Standardfehler der Schätzung mit Hilfe der Regression

Quellen : [44] , [228] , [231] , [232]

Tabelle 20

Lineare Regression ; Gesamtversand in Abhängigkeit von den mit Hilfe der Produktivitätsfaktoren modifizierten Beschäftigten

$y = b \cdot px + a$ y : Gesamtversand der VB mit Elektrotechnischen Gütern im Jahre 1972 (einschl. Binnenverkehr)
 x : Beschäftigte der Elektrotechnischen Industrie in 1970/72 je VB
 p : Produktivitätsfaktor

Ergebnis

$a = 8\,614,938$
 $b = 0,432$
 $r^2 = 0,901$
 $r^2 = 0,812$
 $s_e = 21\,262,508$

Ausgangswerte, Schätzungen und standardisierte Residuen

VB	x	px	y	y _{gesch.}	y _{gesch.} -y	$\frac{y_{\text{gesch.}}-y}{s_e}$
1	21898	169731	46191	81964	35773	1,68
2	24392	156645	87166	76309	-10857	-0,51
3	11028	52151	17630	31152	13522	0,63
4	20125	33669	41405	23165	-18240	-0,86
5	17285	51699	39491	30957	- 8534	-0,40
6	11875	40126	7227	25955	18728	0,88
7	94418	444048	165479	200509	35030	1,65
8	22545	126613	102367	63330	-39037	-1,83
9	17238	54127	40474	32006	- 8468	-0,40
10	6566	27052	17608	20305	2697	0,13
11	1954	11423	8232	13551	5319	0,25
12	13475	92910	23123	48766	25643	1,21
13	18240	132623	86998	65928	-21070	-0,99
14	83106	323864	201084	148572	-52512	-2,47
15	7448	68904	47984	38085	- 9899	-0,46
16	7947	12230	2959	13900	10941	0,51
17	23883	73368	33349	40521	6972	0,33
18	9036	30623	22875	21848	- 1026	-0,05
19	3069	8071	4149	12103	7954	0,37
20	13009	57916	33355	33643	288	0,01
21	7048	15273	8308	15215	6907	0,32
22	74503	12017	38012	60547	22535	1,06
23	504	2308	2915	9612	6697	0,31
24	9584	16714	45244	15838	-29406	-1,38

s_e : Standardfehler der Schätzung mit Hilfe der Regression

Quellen : [44] , [228] , [231] , [232]

Tabelle 26

Verkehr mit der Gütergruppe 931 innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972

<u>(Paarige) Relationen mit mehr als 70,2 t sowie nicht existente Relationen</u>																							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	+	+	*	*		*							*				-			+			
2		+	*	+		*	*	+					*							*			
3															-		-		+		-	-	
4	+	+		*		*													*	+	-		
5	+			+		*		*	-	-	-		-	-				-	*	+	-	-	
6				+		*												-	*	*	-		
7	+	+	+	+	+		*	*	*				*	*				*	*	*		*	
8	+	+	-			+		+	-				+	+				+		*			
9	+			+		+		+					+		-				+	+	+	-	
10				+	+								+										
11	+			-				-					*		-		-				+	-	
12	-			-		+			+				*							+	-		
13	+	+				+			+	+			*			+	+			+			
14	+	+		+	+	+		+	+	+	+		*	*		*	*	+	+	+	*	*	
15	+		-	+		+							+						+	+	+	-	+
16	-		-	-		-		-										-	-				
17						+							+	+		*			+		+		
18					-	+					-		+			+				-	*		
19	-	-	-	-				-		-											*		
20				+	+															+	*		+
21		-	-			+		-						-									
22	+					+	+						+	-		+	+	+	+	+	+	*	
23	-	-	-	-	-			-	-	-	-	-										+	
24	+		-			+			-				+	-							+		
																<u>Summen</u>					<u>Versandanteil (%)</u>		
																+	*	-	<u>der Relationen über 70,2t</u>				
																7	4	1	72,9				
																8	5	0	84,0				
																1	0	4	20,9				
																5	2	1	75,8				
																6	3	8	85,1				
																2	1	2	37,7				
																15	9	0	95,3				
																7	1	3	92,6				
																6	1	2	80,9				
																3	0	0	66,7				
																1	0	4	29,3				
																4	1	3	76,4				
																8	1	0	80,1				
																17	5	0	95,6				
																7	0	2	85,4				
																0	0	7	0,0				
																6	1	0	79,7				
																4	1	3	81,7				
																1	1	6	34,7				
																5	1	0	61,5				
																1	0	5	61,8				
																10	1	1	91,1				
																1	0	13	27,4				
																4	0	3	85,3				
																129	38	68					

Symbolerklärung

+ := Relation mit mehr als 70,2 t Verkehr im Jahr 1972

* := Paarige Relation mit mehr als 70,2 t Verkehr im Jahr 1972 (nur in der oberen Dreiecksmatrix markiert)

- := Relation mit einem Verkehr unter 0,5 t im Jahr 1972

Tabelle 27

Verkehr mit der Gütergruppe 931 innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972

Entfernungen der nichtexistenten Relationen im Vergleich zur durchschnittlichen Versandentfernung der VB

VB	Standardisierte Entfernungen für Punktmuster Süd-VB									alle Entfernungen	
										\bar{x}	v
1	13,11									10,71	0,46
3	15,96	18,94	16,52	16,81						10,04	0,48
4	17,21									12,87	0,36
5	15,80	15,16	16,16	12,78	14,31	11,66	13,07	14,03		11,58	0,31
6	9,53	13,75								8,43	0,45
8	7,07	11,14	8,92							7,15	0,35
9	10,21	13,23								9,63	0,36
11	15,80	10,89	14,51	11,66						10,77	0,40
12	8,24	15,16	13,55							9,23	0,37
15	8,48	10,13								7,82	0,36
16	16,77	15,96	18,46	13,19	11,26	3,86	5,38			9,96	0,46
18	16,16	13,15	12,70							13,29	0,38
19	11,66	12,30	15,32	11,66	8,72	8,04				7,92	0,44
21	12,14	12,14	8,28	9,49	9,97					9,17	0,33
22	3,05									8,80	0,47
23	17,33	15,72	16,52	13,07	13,75	8,32	10,01	16,85	13,55	11,20	0,36
	9,97	9,45	11,54								
24	16,81	17,13	10,13							11,05	0,41

Bem.: Anordnung der Entfernungen erfolgt nach aufsteigenden Senken-Nummern.

Tabelle 28

Verkehr mit der Gütergruppe 931 innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972

(Paarige) Präferenzrelationen über 1,2

(Paarige) Präferenzrelationen über 1,2																								Summen		Paarige Relationen je VB	Anteil der Präf. relat. $\geq 1,2$ am Versand- präf. aufkommen(%)		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	+,*	*				
1	+	+	*	*		+			+		+												+	8	2	2	68,7		
2		*	+		*			+		*				+											6	3	3	59,9	
3	+		+		*			+		*	+				+					+					8	2	3	78,2	
4	+				*	+																			3	1	2	44,6	
5	+		+						*																3	1	3	63,5	
6	+	+	+			*	+	*	*						+										8	3	5	75,9	
7		+				+	+	+	+					*							*				7	2	3	67,8	
8	+																			*					2	1	1	51,6	
9	+			+	+				+				+												5	0	1	59,8	
10				+	+						+			+		+									4	0	2	66,9	
11	+	+					+			*		*													5	2	4	83,5	
12									+	*		*										+			4	2	3	73,6	
13	+	+			+					+	+	+				+	+			*					5	0	1	49,7	
14										+	+	+				+	+		*						5	1	3	46,6	
15	+			+		+				+			+										+			6	0	1	72,4
16									+	+				+		*	*				+	+	+			8	2	2	87,3
17															+		*	*			+					4	2	3	68,5
18						+									+	+										3	0	2	70,1
19													+		+	+	+			*	*	+				7	2	4	84,0
20				+			+		+									+		+		*	+			7	1	2	73,2
21						+												+		*	+					4	1	2	76,6
22	+												+				+	+	+	+	+	*				7	1	3	80,4
23																		+	+				+			3	0	2	79,6
24	+					+							+						+			+				4	0	1	65,3
																								126	29	58			

Symbolerklärung

+ := Relation mit Präferenz über 1,2 im Jahr 1972

* := Paarige Relation mit Präferenz über 1,2 im Jahr 1972 (nur in der oberen Dreiecksmatrix markiert)

Tabelle 29

Verkehr mit der Gütergruppe 931 innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972

Aus Quelle und den vier wichtigsten Präferenzzielen gebildete und
signifikante TeilsystemeZusätzliche Teilsysteme

2-Teilsysteme		3-Teilsysteme		4-Teilsysteme		5-Teilsysteme	
VB	Index	VB	Index	VB	Index	VB	Index
3, 6	1,000	1, 4, 5	0,721	1, 2, 3, 4	0,539		
		1, 4, 9	0,521	1, 4, 5, 7	0,577		
4, 5	0,681	1, 5, 10	0,764	1, 4, 5, 10	0,846		
		2, 3, 6	0,772	1, 4, 6, 9	0,554		
5, 10	1,000	2, 3, 11	0,672	2, 3, 4, 6	0,637		
		2, 4, 6	0,531	2, 3, 11, 12	0,763		
7, 15	0,621	2, 4, 9	0,515	3, 6, 11, 12	0,680		
		2, 11, 12	0,640	11, 12, 13, 14	0,681	11, 12, 13, 14, 22	0,517
8, 20	0,562	3, 4, 6	0,546	11, 12, 14, 22	0,507		
		3, 11, 12	0,735	16, 17, 18, 19	0,734	16, 17, 18, 19, 23	0,680
11, 2	0,636	4, 5, 7	0,503	16, 17, 18, 22	0,512		
		4, 5, 10	0,908	16, 18, 19, 23	0,535		
11, 12	1,000	4, 6, 9	0,575	17, 18, 19, 23	0,562		
		5, 6, 10	0,508	19, 21, 22, 23	0,659	7, 19, 21, 22, 23	0,552
16, 18	0,835	11, 12, 13	0,587	19, 21, 22, 24	0,503	19, 21, 22, 23, 24	0,692
		11, 12, 14	0,763	19, 22, 23, 24	0,758		
17, 18	1,000	16, 17, 18	0,833	19, 20, 22, 23	0,626	19, 20, 22, 23, 24	0,693
		16, 18, 19	0,555	20, 22, 23, 24	0,614		
19, 23	0,840	17, 18, 19	0,576	21, 22, 23, 24	0,571		
		19, 20, 23	0,622				
21, 7	0,736	19, 21, 23	0,628				
		19, 22, 23	0,743				
22, 19	0,558	19, 22, 24	0,664				
		20, 21, 23	0,530				
22, 24	0,778	22, 23, 24	0,694				

Baden-Württemberg	
VB	Index
1, 2, 3, 6, 7, 8	0,554
4, 5, 9, 10	0,820
Gesamt	0,764
Bayern	
VB	Index
16, 17, 18	0,833
16, 17, 18, 24	0,571
16, 19, 20, 21, 22, 23, 24 (Umgebung München)	0,657
Gesamt	0,783

Tabelle 30

Verkehr mit der Gütergruppe 931 innerhalb Süddeutschlands im Jahr 1972

Signifikanzen aller möglichen Sub-Teilsysteme der Teilsysteme I und II

Teilsystem I						Teilsystem II					
2-Teilsysteme		3-Teilsysteme		4-Teilsysteme		2-Teilsysteme		3-Teilsysteme		4-Teilsysteme	
VB	Index	VB	Index	VB	Index	VB	Index	VB	Index	VB	Index
1, 2	0,280	1, 2, 3	<u>0,517</u>	1, 2, 3, 6	<u>0,670</u>	7, 8	0,330	7, 8, 15	0,292	7, 8, 15, 19	0,140
1, 3	0,444	1, 2, 6	0,379	1, 2, 3, 11	<u>0,626</u>	7, 15	<u>0,621</u>	7, 8, 19	0,126	7, 8, 15, 20	0,443
1, 6	0,190	1, 2, 11	0,406	1, 2, 6, 11	0,407	7, 19	0,035	7, 8, 20	<u>0,507</u>	7, 8, 19, 20	0,210
1, 11	0,021	1, 3, 6	<u>0,657</u>	1, 3, 6, 11	0,441	7, 20	0,116	7, 15, 19	0,118	7, 15, 19, 20	0,313
2, 3	0,472	1, 3, 11	0,387	2, 3, 6, 11	<u>0,706</u>	8, 15	0,016	7, 15, 20	0,287	8, 15, 19, 20	0,218
2, 6	0,498	1, 6, 11	0,095			8, 19	0,022	7, 19, 20	0,140		
2, 11	<u>0,636</u>	2, 3, 6	<u>0,772</u>			8, 20	<u>0,562</u>	8, 15, 19	0,019		
3, 6	<u>1,000</u>	2, 3, 11	<u>0,672</u>			15, 19	0,000	8, 15, 20	0,311		
3, 11	0,475	2, 6, 11	0,481			15, 20	0,114	8, 19, 20	0,325		
6, 11	0,086	3, 6, 11	0,465	Gesamt I	<u>0,649</u>	19, 20	0,208	15, 19, 20	0,144	Gesamt II	0,296

Unterstrichene Indexwerte zeigen gemäß Testschranke signifikante Werte an.

URNENMODELL

Tabelle 31

Urnenmodell ; Ergebnisse der 1. Hypothese

VB	Ziele in Reihenfolge						Wahrscheinlichkeit dieser realen Ziel- auswahl unter Hyp. 1	Anzahl der Zufallsreihungen mit größerer Wahrscheinlichkeit
1	7	4	2	22	14		0,000014735	6
2	14	22	4	7	9		0,000018893	0
3	20	7	4	9	22		0,000008952	7
4	7	5	22	1	2		0,000004795	16
5	10	4	22	7	1		0,000003422	15
6	4	7	2	22	9		0,000004180	18
7	22	8	14	9	15		0,000002189	29
8	20	22	7	14	1		0,000048001	1
9	4	14	7	22	1		0,000017362	3
10	5	7	22	9	20		0,000006601	14
11	2	14	12	8	7		0,000000513	71
12	14	22	11	7	13		0,000002516	32
13	17	22	7	2	14		0,000011990	2
14	22	7	13	17	12		0,000003614	17
15	14	7	22	24	20		0,000018766	4
16	18	22	15	24	17		0,000000365	74
17	18	14	22	20	16		0,000001406	50
18	17	7	22	14	16		0,000003177	36
19	22	14	18	24	17		0,000002864	22
20	21	22	7	24	5		0,000002125	35
21	7	22	19	20	23		0,000000479	73
22	14	24	18	20	19		0,000000711	51
23	24	20	22	14	19		0,000001236	46
24	22	7	14	1	17		0,000019758	2

Reihenfolge der Wahrsch. gemäß
Reihenfolge der Empfangsmengen

1 - 5 22, 7, 14, 20, 4
6 - 11 17, 1, 2, 5, 9, 18
12 - 18 13, 24, 8, 10, 21, 15, 12
19 - 24 3, 19, 11, 6, 16, 23

Signifikanz-
niveau (%)

1 - 10 1, 2, 3, 8, 9, 13, 15, 24
11 - 20 4, 5, 6, 10, 14
21 - 35 7, 12, 19
36 - 65 17, 18, 20, 22, 23
66 - 80 11, 16, 21

Tabelle 32

Urnenmodell ; Ergebnisse der 2. Hypothese

VB	Ziele in Reihenfolge					Wahrscheinlichkeit dieser realen Ziel- auswahl unter Hyp. 2	Anzahl der Zufallsreihenungen mit größerer Wahrscheinlichkeit
1	7	4	2	22	14	0,00026428	17
2	14	22	4	7	9	0,00045054	3
3	20	7	4	9	22	0,00000023	98
4	7	5	22	1	2	0,00010106	29
5	10	4	22	7	1	0,00005124	56
6	4	7	2	22	9	0,00006124	39
7	22	8	14	9	15	0,00000044	99
8	20	22	7	14	1	0,00000336	98
9	4	14	7	22	1	0,00035796	8
10	5	7	22	9	20	0,00000063	98
11	2	14	12	8	7	0,0000000007	99
12	14	22	11	7	13	0,00003049	55
13	17	22	7	2	14	0,00000043	93
14	22	7	13	17	12	0,00007197	38
15	14	7	22	24	20	0,00026668	16
16	18	22	15	24	17	0,00000315	81
17	18	14	22	20	16	0,00001724	59
18	17	7	22	14	16	0,00004512	48
19	22	14	18	24	17	0,00003265	36
20	21	22	7	24	5	0,00000012	96
21	7	22	19	20	23	0,00000615	77
22	14	24	18	20	19	0,00001039	68
23	24	20	22	14	19	0,00001179	59
24	22	7	14	1	17	0,00000065	95

Reihenfolge der Wahrscheinlichkeiten gemäß Reihenfolge der Empfangsmengen, nach Ländern differenziert :

	Baden-Württemberg	Bayern
1 - 5	22, 7, 14, 4, 1	22, 7, 14, 20, 17
6 - 12	2, 5, 9, 8, 10, 3, 6	18, 13, 24, 21, 15, 12, 19, 11, 16, 23
(15)		
anderes Land (außer Zentrum)	11, 12, 13, 15, 16, 17, 18 19, 20, 21, 23, 24	1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10

Tabelle 33

Urnenmodell ; Ergebnisse der 3. Hypothese

VB	Ziele in Reihenfolge						Wahrscheinlichkeit dieser realen Ziel- auswahl unter Hyp. 3	Anzahl der Zufallsreihenungen mit größerer Wahrscheinlichkeit
1	7	4	2	22	14		0,00015828	11
2	14	22	4	7	9		0,00025098	4
3	20	7	4	9	22		0,00002963	51
4	7	5	22	1	2		0,00005816	23
5	10	4	22	7	1		0,00003188	40
6	4	7	2	22	9		0,00003846	31
7	22	8	14	9	15		0,0000000019	99
8	20	22	7	14	1		0,00012999	11
9	4	14	7	22	1		0,00020599	10
10	5	7	22	9	20		0,00003306	41
11	2	14	12	8	7		0,000000000017	99
12	14	22	11	7	13		0,00002551	37
13	17	22	7	2	14		0,00000164	83
14	22	7	13	17	12		0,00005734	31
15	14	7	22	24	20		0,00021971	11
16	18	22	15	24	17		0,00000271	78
17	18	14	22	20	16		0,00001434	59
18	17	7	22	14	16		0,00003687	44
19	22	14	18	24	17		0,00002749	37
20	21	22	7	24	5		0,00000018	97
21	7	22	19	20	23		0,00000513	78
22	14	24	18	20	19		0,00000854	60
23	24	20	22	14	19		0,00001004	54
24	22	7	14	1	17		0,00001403	59

Tabelle 34

Urnenmodell ; Ergebnisse der 4. Hypothese

VB Ziele in Reihenfolge							Wahrscheinl. dieser Ziel- ausw. u.Hyp. 4	Anzahl Zufalls- reihenungen mit größ. Wahrsch.	Beste Hyp.	Test- wert
1	7	4	2	22	14		0,0001254	53	4	53
2	14	22	4	7	9		0,0000029	73	4	73
3	20	7	4	9	22		0,0000045	52	3	51
4	7	5	22	1	2		0,0000734	32	4	32
5	10	4	22	7	1		0,0000340	30	2	56
6	4	7	2	22	9		0,0000178	15	2	39
7	22	8	14	9	15		0,0000004	86	1	29
8	20	22	7	14	1		0,0000166	9	3	11
9	4	14	7	22	1		0,0000079	61	4	61
10	5	7	22	9	20		0,0000469	5	3	41
11	2	14	12	8	7		0,0000002	91	1	71
12	14	22	11	7	13		0,0000132	24	2	55
13	17	22	7	2	14		0,0000036	57	4	57
14	22	7	13	17	12		0,0000136	31	2	38
15	14	7	22	24	20		0,0000413	17	4	17
16	18	22	15	24	17		0,0000144	43	4	43
17	18	14	22	20	16		0,0000655	14	1	50
18	17	7	22	14	16		0,0000076	59	2	43
19	22	14	18	24	17		0,0000665	12	3	37
20	21	22	7	24	5		0,0000024	60	4	60
21	7	22	19	20	23		0,0000024	59	4	59
22	14	24	18	20	19		0,0000332	11	1	51
23	24	20	22	14	19		0,0000404	18	3	54
24	22	7	14	1	17		0,0000005	91	3	59

Signifikanztest

0	-	5	10
6	-	10	8
11	-	20	6,15,17,19,22,23
21	-	33	4, 5,12,14
34	-	66	1, 3, 9,13,16,18,20,21
67	-	80	2
81	-	90	7
91	-	95	11,24
96	-	100	

APPROXIMATION DER ORIGINALMATRIX MIT
HILFE DES KONKURRENZMODELLS

Tabelle 35

Approximation der Originalmatrix auf Stufe 2

Punktmuster Hexagonal, auf Süd-VB umgeordnet ; Präferenzmatrix der Approximation

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1		1,18	2,66	0,87	0,68	2,41	1,09	0,87	0,68	0,59	3,24	0,95	0,73	0,65	1,08	0,53	0,63	0,64	0,62	0,62	0,57	0,52	0,57	0,54
2	1,21		2,77	3,41	1,18	0,99	1,96	0,94	1,04	0,86	0,85	0,66	0,59	0,55	0,75	0,52	0,58	0,64	0,60	0,75	0,71	0,56	0,67	0,58
3	2,71	2,75		1,39	0,86	1,62	1,97	0,99	0,85	0,70	1,21	0,75	0,64	0,59	0,88	0,52	0,59	0,63	0,62	0,69	0,63	0,54	0,61	0,55
4	0,89	3,42	1,40		2,00	0,84	2,15	1,02	1,60	1,14	0,72	0,60	0,55	0,53	0,71	0,52	0,55	0,63	0,62	0,88	0,79	0,60	0,70	0,59
5	0,69	1,16	0,86	1,97		0,66	1,05	0,90	2,06	3,91	0,60	0,56	0,53	0,52	0,63	0,56	0,56	0,67	0,65	1,13	1,14	0,70	0,89	0,67
6	2,41	0,97	1,59	0,82	0,65		1,52	1,55	0,76	0,58	2,80	0,89	0,65	0,66	1,97	0,52	0,58	0,58	0,70	0,70	0,55	0,52	0,53	0,51
7	1,11	1,95	1,96	2,13	1,05	1,54		2,03	1,59	0,83	0,87	0,64	0,54	0,54	0,88	0,50	0,53	0,57	0,66	0,89	0,67	0,56	0,61	0,53
8	0,85	0,90	0,95	0,98	0,88	1,52	1,97		1,89	0,87	0,87	0,71	0,60	0,68	1,43	0,63	0,60	0,63	1,10	1,77	0,75	0,72	0,67	0,60
9	0,68	1,02	0,84	1,57	2,05	0,76	1,58	1,93		2,04	0,62	0,56	0,51	0,52	0,72	0,55	0,53	0,60	0,75	2,18	0,98	0,70	0,75	0,60
10	0,60	0,86	0,70	1,13	3,94	0,59	0,84	0,90	2,07		0,55	0,55	0,52	0,53	0,62	0,60	0,57	0,70	0,72	1,68	1,96	0,85	1,10	0,74
11	3,22	0,83	1,18	0,69	0,59	2,78	0,85	0,88	0,61	0,54		1,50	0,89	0,82	1,96	0,58	0,71	0,66	0,71	0,61	0,55	0,53	0,56	0,55
12	0,94	0,64	0,73	0,58	0,55	0,88	0,62	0,72	0,55	0,53	1,50		3,51	2,23	1,73	0,82	1,26	0,90	0,90	0,62	0,59	0,64	0,63	0,70
13	0,73	0,57	0,62	0,53	0,53	0,64	0,53	0,60	0,50	0,51	0,90	3,53		2,70	0,99	0,97	2,70	1,18	0,84	0,58	0,59	0,67	0,67	0,80
14	0,65	0,54	0,58	0,51	0,51	0,66	0,54	0,69	0,52	0,52	0,83	2,25	2,71		1,41	1,67	2,23	1,09	1,53	0,66	0,61	0,80	0,68	0,83
15	1,06	0,72	0,85	0,68	0,61	1,93	0,86	1,43	0,70	0,60	1,94	1,71	0,97	1,38		0,78	0,83	0,74	1,35	0,82	0,63	0,70	0,63	0,65
16	0,53	0,50	0,51	0,50	0,55	0,52	0,50	0,64	0,54	0,59	0,58	0,83	0,97	1,66	0,80		1,78	1,76	2,40	0,79	0,81	2,10	1,00	2,07
17	0,64	0,57	0,58	0,54	0,56	0,58	0,53	0,61	0,52	0,57	0,72	1,27	2,72	2,23	0,85	1,79		2,49	1,00	0,65	0,70	0,88	0,84	1,21
18	0,64	0,63	0,62	0,61	0,67	0,57	0,57	0,64	0,60	0,69	0,67	0,91	1,18	1,09	0,75	1,76	2,48		0,96	0,74	0,92	1,16	1,27	2,83
19	0,61	0,58	0,59	0,59	0,63	0,68	0,64	1,09	0,73	0,69	0,70	0,89	0,83	1,50	1,34	2,35	0,98	0,94		1,33	0,87	2,01	0,88	1,02
20	0,62	0,73	0,68	0,85	1,10	0,69	0,87	1,78	2,15	1,63	0,61	0,62	0,58	0,65	0,83	0,78	0,64	0,74	1,35		1,59	1,36	1,04	0,81
21	0,58	0,70	0,63	0,79	1,15	0,56	0,67	0,78	0,99	1,96	0,56	0,60	0,61	0,62	0,65	0,83	0,71	0,94	0,90	1,64		1,63	3,60	1,20
22	0,52	0,55	0,53	0,58	0,70	0,52	0,56	0,74	0,90	0,84	0,54	0,64	0,68	0,81	0,71	2,11	0,88	1,16	2,05	1,37	1,61		1,92	2,27
23	0,57	0,66	0,61	0,69	0,89	0,54	0,61	0,69	0,76	1,09	0,57	0,64	0,68	0,68	0,65	1,01	0,85	1,28	0,91	1,06	3,58	1,94		2,17
24	0,55	0,57	0,55	0,58	0,67	0,51	0,53	0,62	0,60	0,73	0,56	0,71	0,81	0,85	0,67	2,11	1,22	2,86	1,05	0,83	1,20	2,30	2,18	

Aufkommen

Ausgleichs-
faktorenBestimm-
theitsmaße

V _b	E _b	A · 10 ³	B	Vers.	Empf.
996,6	1000,0	0,157	1,102	0,122	-0,688
1016,0	1000,0	0,181	1,241	0,495	-0,168
1012,2	1000,0	0,167	1,150	0,028	0,610
1019,7	1000,0	0,166	1,135	0,230	0,328
1003,1	1000,0	0,166	1,149	0,593	0,538
1001,2	1000,0	0,123	0,863	-0,177	-0,072
1008,3	1000,0	0,134	0,929	0,244	-0,201
981,5	1000,0	0,120	0,853	0,167	0,304
1000,7	1000,0	0,128	0,891	0,123	-0,164
1014,4	1000,0	0,149	1,024	0,461	0,613
991,9	1000,0	0,140	0,988	-0,022	0,106
990,0	1000,0	0,145	1,025	0,259	0,186
995,3	1000,0	0,150	1,053	0,045	0,530
1000,5	1000,0	0,124	0,866	0,585	-0,197
980,6	1000,0	0,126	0,899	0,028	-0,069
996,4	1000,0	0,123	0,866	0,063	0,285
1001,6	1000,0	0,156	1,088	0,367	0,428
997,4	1000,0	0,188	1,315	0,291	0,342
976,6	1000,0	0,118	0,845	0,273	0,079
987,3	1000,0	0,126	0,890	0,209	0,149
1012,5	1000,0	0,158	1,085	0,277	0,064
999,3	1000,0	0,127	0,888	0,447	0,413
1005,1	1000,0	0,172	1,195	0,154	0,427
1011,7	1000,0	0,156	1,079	-0,172	0,242

Einige Kennzahlen der Approximation

Exponent	: 0,68531
Bestimmtheitsmaß (global)	: 0,198
Fehlerquadrat (global)	: 1755241,0
Relative Entropiedifferenz	: 0,063

Tabelle 36

Approximation der Originalmatrix auf Stufe 2

Punktmuster Süd-VB : Präferenzmatrix der Approximation

																									<u>Aufkommen</u>		<u>Ausgleichs- faktoren</u>		<u>Bestimmt- heitsmaß</u>	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	V_0	E_0	$A \cdot 10^3$	B	Vers.	Empf.
1		2,31	6,68	1,09	0,54	1,45	0,90	0,55	0,67	0,42	1,81	0,77	0,55	0,37	0,47	0,25	0,29	0,35	0,29	0,30	0,40	0,24	0,35	0,30	927,7	1000,0	0,386	0,842	0,483	-1,887
2	2,46		2,71	2,12	0,86	2,22	1,75	0,94	1,22	0,60	1,38	0,81	0,56	0,48	0,62	0,33	0,37	0,44	0,40	0,42	0,57	0,33	0,47	0,40	976,4	1000,0	0,461	0,944	0,454	0,126
3	6,86	2,62		1,07	0,54	1,79	1,00	0,58	0,69	0,41	1,66	0,81	0,51	0,38	0,48	0,24	0,29	0,34	0,29	0,30	0,40	0,24	0,34	0,29	961,5	1000,0	0,354	0,751	-0,796	0,705
4	1,22	2,23	1,17		2,53	1,19	1,09	0,89	1,99	1,40	1,19	0,81	0,67	0,54	0,63	0,50	0,51	0,65	0,54	0,60	0,96	0,51	0,78	0,64	1011,2	1000,0	0,863	1,681	0,460	0,520
5	0,63	0,94	0,61	2,64		0,78	1,04	1,37	2,26	3,35	0,71	0,63	0,66	0,57	0,62	0,60	0,60	0,74	0,67	0,78	1,44	0,67	0,98	0,79	1046,5	1000,0	0,765	1,426	0,517	0,477
6	1,55	2,23	1,87	1,14	0,72		2,99	0,84	1,23	0,66	1,52	1,27	0,72	0,66	0,94	0,37	0,45	0,50	0,47	0,49	0,63	0,37	0,51	0,43	980,0	1000,0	0,421	0,856	0,144	0,340
7	0,98	1,80	1,06	1,07	0,97	3,05		1,47	2,23	0,93	1,04	0,87	0,64	0,88	0,44	0,48	0,53	0,60	0,65	0,88	0,46	0,61	0,52	0,52	991,2	1000,0	0,435	0,868	0,311	-0,199
8	0,62	1,00	0,63	0,90	1,32	0,88	1,52		1,44	2,19	0,60	0,68	0,68	0,70	0,81	0,60	0,67	0,65	1,36	1,50	2,00	0,81	0,95	0,80	1013,4	1000,0	0,422	0,813	0,150	0,064
9	0,76	1,31	0,76	2,03	2,20	1,31	2,32	1,45		1,91	0,87	0,73	0,62	0,57	0,71	0,49	0,53	0,62	0,61	0,74	1,07	0,55	0,75	0,64	1024,2	1000,0	0,595	1,140	0,307	0,181
10	0,49	0,66	0,47	1,46	3,35	0,72	0,99	2,27	1,97		0,62	0,65	0,67	0,61	0,68	0,64	0,62	0,73	0,76	0,95	2,07	0,77	1,08	0,84	1046,0	1000,0	0,602	1,121	0,404	0,542
11	1,94	1,39	1,73	1,14	0,65	1,52	1,02	0,57	0,82	0,56		2,84	1,61	0,88	1,00	0,48	0,62	0,70	0,54	0,50	0,54	0,40	0,58	0,50	979,7	1000,0	0,619	1,260	0,325	0,385
12	0,85	0,84	0,87	0,81	0,59	1,31	0,88	0,67	0,71	0,61	2,94		2,49	1,63	2,01	0,60	0,84	0,82	0,75	0,65	0,59	0,49	0,66	0,57	1007,5	1000,0	0,540	1,063	0,468	0,422
13	0,60	0,57	0,54	0,65	0,61	0,73	0,64	0,65	0,60	0,62	1,64	2,45		3,10	1,76	0,81	1,21	1,08	0,92	0,78	0,65	0,58	0,78	0,67	985,1	1000,0	0,606	1,209	-0,382	0,842
14	0,41	0,51	0,41	0,54	0,55	0,69	0,65	0,69	0,56	0,58	0,92	1,64	3,17		3,71	0,88	1,59	1,06	1,13	0,90	0,62	0,59	0,73	0,63	1006,4	1000,0	0,428	0,839	0,434	-0,047
15	0,51	0,64	0,51	0,62	0,58	0,96	0,88	0,78	0,69	0,63	1,02	1,99	1,76	3,64		0,69	1,03	0,85	1,24	0,97	0,65	0,63	0,77	0,66	986,9	1000,0	0,428	0,852	0,006	-0,187
16	0,29	0,36	0,27	0,51	0,59	0,39	0,46	0,61	0,49	0,63	0,51	0,62	0,85	0,90	0,72		3,23	2,70	1,75	1,13	0,92	2,28	1,41	1,92	1024,5	1000,0	0,501	0,954	0,097	0,466
17	0,33	0,39	0,31	0,51	0,58	0,47	0,50	0,67	0,52	0,60	0,65	0,86	1,25	1,62	1,07	3,19		2,59	2,26	1,02	0,71	1,08	0,96	1,15	1012,2	1000,0	0,500	0,965	0,536	0,330
18	0,39	0,46	0,37	0,65	0,71	0,51	0,54	0,64	0,60	0,69	0,72	0,83	1,10	1,06	0,86	2,63	2,55		1,21	0,88	0,89	1,22	1,26	2,12	995,5	1000,0	0,844	1,654	0,410	0,474
19	0,32	0,42	0,31	0,53	0,63	0,49	0,61	1,33	0,60	0,72	0,56	0,75	0,93	1,12	1,26	1,69	2,21	1,20		2,03	0,92	1,72	1,13	1,27	989,3	1000,0	0,415	0,818	0,300	0,122
20	0,33	0,44	0,32	0,60	0,75	0,51	0,66	1,48	0,73	0,91	0,52	0,65	0,80	0,90	0,99	1,10	1,01	0,88	2,05		1,66	2,36	1,82	1,50	999,1	1000,0	0,410	0,800	0,271	0,116
21	0,45	0,61	0,44	0,98	1,39	0,66	0,91	2,00	1,07	2,00	0,57	0,60	0,67	0,63	0,67	0,92	0,72	0,91	0,94	1,68		1,31	1,95	1,22	1012,5	1000,0	0,570	1,097	0,151	0,187
22	0,28	0,36	0,26	0,53	0,66	0,39	0,49	0,83	0,55	0,76	0,43	0,51	0,61	0,61	0,66	2,30	1,10	1,27	1,79	2,43	1,33		2,29	3,29	1031,8	1000,0	0,421	0,796	0,336	0,238
23	0,39	0,49	0,37	0,78	0,93	0,52	0,63	0,93	0,73	1,02	0,60	0,66	0,79	0,73	0,78	1,37	0,94	1,26	1,14	1,81	1,91	2,21		1,83	991,9	1000,0	0,702	1,378	0,224	0,374
24	0,34	0,43	0,32	0,64	0,76	0,45	0,54	0,79	0,63	0,81	0,52	0,58	0,69	0,64	0,68	1,88	1,14	2,14	1,29	1,50	1,20	3,20	1,85		999,4	1000,0	0,623	1,213	-0,082	0,259

Einige Kennzahlen der Approximation

Exponent	:	1,24893
Bestimmtheitsmaß (global)	:	0,241
Fehlerquadrat (global)	:	1 661 828,0
Relative Entropiedifferenz	:	0,07712

Tabelle 37

Approximation der Originalmatrix auf Stufe 2, Vergleich der Punktmuster

Punktmuster Hexagonal, auf Süd-VB umgeordnet und Süd-VB ; absolute und relative regionale Bestimmtheitsmaße

VB	Versand				Empfang				Relative Versandentropie		
	Süd-VB	Hexag.	Süd - Hex	z-score	Süd-VB	Hexag.	Süd - Hex	z-score	Orig.	Süd-VB	Hexag.
1	0,475	0,122	0,353	1,427	-1,926	-0,688	-1,238	-1,928	0,878	0,818	0,937
2	0,461	0,495	-0,034	-0,026	0,138	-0,168	0,306	1,270	0,861	0,927	0,941
3	-0,855	0,028	-0,883	-2,403	0,682	0,610	0,072	0,466	0,808	0,813	0,948
4	0,502	0,230	0,272	0,835	0,505	0,328	0,177	0,596	0,837	0,962	0,995
5	0,514	0,593	-0,079	-0,990	0,458	0,535	-0,077	-1,148	0,690	0,948	0,939
6	0,120	-0,177	0,297	0,905	0,330	-0,072	0,402	0,929	0,837	0,942	0,946
7	0,312	0,244	0,068	0,357	-0,183	-0,201	0,018	0,260	0,847	0,954	0,958
8	0,149	0,167	-0,018	-0,568	0,076	0,304	-0,228	-1,522	0,711	0,974	0,974
9	0,341	0,123	0,218	0,684	0,196	-0,164	0,360	1,553	0,836	0,961	0,956
10	0,401	0,461	-0,060	-0,859	0,524	0,613	-0,089	-0,795	0,723	0,948	0,936
11	0,527	-0,022	0,349	1,970	0,373	0,100	0,273	1,609	0,643	0,954	0,939
12	0,461	0,259	0,202	0,953	0,409	0,186	0,223	0,836	0,693	0,954	0,945
13	-0,318	0,045	-0,363	-1,261	0,532	0,530	0,002	0,232	0,896	0,952	0,925
14	0,426	0,585	-0,159	-0,496	-0,016	-0,197	0,181	0,544	0,870	0,928	0,946
15	0,020	0,028	-0,008	0,050	-0,178	-0,067	-0,111	-0,910	0,811	0,950	0,974
16	0,108	0,063	0,045	-0,133	0,456	0,285	0,171	0,806	0,703	0,923	0,948
17	0,531	0,367	0,164	0,690	0,322	0,428	-0,106	-0,884	0,728	0,936	0,945
18	0,398	0,291	0,107	0,296	0,459	0,342	0,117	0,380	0,652	0,953	0,956
19	0,296	0,273	0,023	0,137	0,123	0,079	0,044	-0,195	0,765	0,959	0,971
20	0,267	0,209	0,058	0,235	0,115	0,149	-0,034	-0,508	0,825	0,958	0,973
21	0,150	0,277	-0,127	-1,322	0,188	0,064	0,124	0,318	0,696	0,969	0,949
22	0,335	0,447	-0,112	-0,241	0,259	0,413	-0,154	-0,039	0,795	0,920	0,954
23	0,219	0,154	0,065	0,005	0,363	0,427	-0,064	-1,046	0,570	0,965	0,946
24	-0,063	-0,172	0,109	0,378	0,259	0,242	0,017	-0,407	0,800	0,941	0,944

Tabelle 38

Approximation der Originalmatrix

Bestimmtheitsmaße für alle Punktmuster, Stufen sowie Versand und Empfang

VB	Versand						VB	Empfang					
	Süd-VB				Hexagonal			Süd-VB				Hexagonal	
	Stufe 1	Stufe 3	Stufe 5	Erweit.	Stufe 3	Stufe 5		Stufe 1	Stufe 3	Stufe 5	Erweit.	Stufe 3	Stufe 5
1	0,372	0,752	0,692	0,526	0,543	0,502	1	0,738	0,460	0,358	0,511	0,679	0,656
2	0,647	0,561	0,750	0,903	0,591	0,694	2	0,742	0,555	0,206	0,766	0,498	0,452
3	0,092	-0,184	-1,895	-1,486	-0,068	-0,750	3	0,363	0,790	0,723	0,923	0,746	0,757
4	0,432	0,627	0,652	0,779	0,689	0,675	4	0,513	0,784	0,643	0,812	0,728	0,590
5	0,343	0,591	0,745	0,569	0,615	0,731	5	-0,090	0,239	0,511	0,766	0,280	0,515
6	0,302	0,447	-5,195	0,405	0,398	0,209	6	0,495	0,865	0,754	0,909	0,678	0,701
7	0,127	0,453	0,496	0,614	0,427	0,457	7	0,802	0,736	0,463	0,803	0,663	0,615
8	0,270	0,354	0,520	0,886	0,375	0,387	8	0,369	0,581	0,734	0,896	0,677	0,795
9	0,606	0,608	0,676	0,741	0,517	0,632	9	0,605	0,789	0,827	0,803	0,683	0,680
10	0,031	0,213	0,496	0,731	0,246	0,610	10	0,226	0,424	0,292	0,371	0,448	0,428
11	0,047	0,178	0,248	0,293	0,084	0,119	11	0,191	0,340	0,443	0,389	0,342	0,260
12	0,455	0,628	0,752	0,769	0,701	0,030	12	0,380	0,589	0,635	0,888	0,712	0,725
13	0,546	0,250	0,460	0,615	0,310	0,565	13	0,395	0,753	0,780	0,986	0,763	0,770
14	0,684	0,807	0,799	0,934	0,836	0,839	14	0,591	0,439	0,792	0,691	0,420	0,675
15	0,648	0,855	0,826	0,767	0,772	0,833	15	0,382	0,232	0,331	0,408	0,363	0,363
16	-0,091	0,198	0,019	0,626	0,066	-2,398	16	0,032	0,374	0,362	0,924	0,248	0,263
17	0,057	0,274	0,220	0,927	0,258	0,232	17	0,261	0,515	0,745	0,682	0,608	0,708
18	0,271	0,406	0,703	0,604	0,386	0,522	18	0,096	0,327	0,313	0,894	0,324	0,327
19	0,383	0,676	0,670	0,292	0,711	0,783	19	0,385	0,587	0,465	0,276	0,661	0,708
20	0,226	0,008	0,082	0,357	0,335	0,249	20	0,149	0,259	0,566	0,920	0,322	0,379
21	0,317	0,342	0,273	0,244	0,282	0,303	21	0,360	0,476	0,192	0,255	0,479	0,400
22	0,250	0,512	0,557	0,266	0,533	0,662	22	0,881	0,921	0,916	0,885	0,944	0,935
23	0,132	0,292	0,246	0,286	0,267	0,236	23	-0,153	0,275	0,245	0,792	0,279	0,376
24	0,642	0,714	0,757	0,749	0,735	0,752	24	0,125	0,533	0,350	0,635	0,423	0,226

Gruppierung der VB nach relativer Versendentropie der Original-VSM (vgl. Tab. 39)

Nr.	Klassengrenzen	VB-Nr.
1	0,440 - 0,615	8, 18, 21, 23, 24
2	0,616 - 0,750	4, 5, 9, 10, 11, 12, 15, 16, 17, 19
3	0,751 - 0,885	1, 2, 3, 6, 7, 13, 14, 20, 22

Tabelle 39

Approximation der Originalmatrix

Relative Entropiewerte des Originals und aller Modellapproximationen für beide Punktmuster, alle Stufen
sowie Versand und Empfang

V e r s a n d							E m p f a n g						
Süd-VB							Süd-VB						
Original	Stufe 3	Stufe 5	Erweit.	Hexagonal	Stufe 3	Stufe 5	Original	Stufe 3	Stufe 5	Erweit.	Hexagonal	Stufe 3	Stufe 5
1	0,832	0,886	0,867	0,832	0,895	0,887	1	0,821	0,838	0,799	0,836	0,856	0,840
2	0,775	0,865	0,875	0,841	0,855	0,869	2	0,748	0,827	0,748	0,828	0,823	0,795
3	0,842	0,862	0,779	0,783	0,865	0,794	3	0,660	0,832	0,798	0,758	0,830	0,805
4	0,714	0,892	0,853	0,770	0,852	0,803	4	0,765	0,854	0,836	0,801	0,810	0,784
5	0,702	0,883	0,822	0,800	0,878	0,841	5	0,694	0,860	0,849	0,787	0,866	0,839
6	0,811	0,850	0,172	0,871	0,884	0,851	6	0,689	0,803	0,616	0,732	0,844	0,811
7	0,876	0,917	0,898	0,877	0,909	0,899	7	0,859	0,868	0,843	0,854	0,864	0,845
8	0,578	0,872	0,731	0,681	0,856	0,821	8	0,650	0,844	0,779	0,683	0,827	0,779
9	0,748	0,859	0,849	0,838	0,859	0,881	9	0,631	0,825	0,765	0,745	0,842	0,820
10	0,662	0,883	0,775	0,702	0,875	0,696	10	0,659	0,858	0,807	0,829	0,878	0,849
11	0,665	0,898	0,848	0,831	0,898	0,895	11	0,719	0,855	0,814	0,819	0,865	0,840
12	0,677	0,887	0,855	0,788	0,868	0,864	12	0,529	0,823	0,795	0,549	0,787	0,787
13	0,807	0,854	0,881	0,852	0,846	0,885	13	0,440	0,765	0,741	0,466	0,758	0,736
14	0,858	0,900	0,891	0,872	0,901	0,897	14	0,839	0,876	0,883	0,886	0,883	0,884
15	0,714	0,843	0,848	0,821	0,887	0,859	15	0,551	0,753	0,741	0,844	0,827	0,807
16	0,709	0,837	0,889	0,782	0,836	0,325	16	0,615	0,856	0,749	0,684	0,825	0,811
17	0,713	0,858	0,857	0,722	0,852	0,845	17	0,606	0,820	0,733	0,749	0,781	0,763
18	0,614	0,865	0,542	0,723	0,870	0,731	18	0,593	0,847	0,808	0,648	0,844	0,822
19	0,670	0,849	0,861	0,821	0,839	0,766	19	0,642	0,850	0,821	0,810	0,833	0,833
20	0,836	0,830	0,877	0,888	0,868	0,875	20	0,615	0,846	0,803	0,651	0,861	0,841
21	0,440	0,868	0,869	0,820	0,860	0,893	21	0,692	0,867	0,829	0,853	0,884	0,870
22	0,788	0,894	0,895	0,855	0,910	0,891	22	0,845	0,868	0,850	0,861	0,866	0,862
23	0,579	0,852	0,869	0,812	0,861	0,866	23	0,636	0,873	0,844	0,730	0,879	0,848
24	0,594	0,809	0,829	0,762	0,832	0,844	24	0,744	0,856	0,836	0,815	0,853	0,801
RE	0,212	0,079	0,116	0,148	0,081	0,103	RE : Relative Entropiedifferenz der berechneten (beobachteten) Verkehrsstrommatrix						

Tabelle 40

Approximation der Originalmatrix

Punktmuster Hexagonal, auf Süd-VB umgeordnet ; ordinale Quartilentfernungen von Original, Stufen 3 und 5
für die Präferenzverteilung der VB

	O r i g i n a l				S t u f e 3				S t u f e 5			
	1. Qu.	Median	3. Qu.	1.-3.	1. Qu.	Median	3. Qu.	1.-3.	1. Qu.	Median	3. Qu.	1.-3.
1	3,17	8,22	15,97	12,80	2,81	8,27	15,62	12,81	1,69	5,15	12,73	11,04
2	1,81	5,53	11,28	9,47	3,10	8,37	15,16	12,06	4,22	9,90	16,22	12,00
3	3,70	5,86	9,94	6,24	3,05	8,17	15,14	12,09	1,79	4,93	11,85	10,06
4	3,18	4,58	11,69	8,51	3,28	8,20	14,83	11,55	2,22	6,40	13,33	11,11
5	0,74	2,75	8,94	8,20	2,93	8,16	15,17	12,24	1,16	4,91	12,30	11,14
6	5,37	9,70	14,22	8,85	3,04	8,16	15,32	12,28	1,89	5,04	12,03	10,14
7	2,97	8,05	11,85	8,88	3,94	8,47	14,86	10,92	3,25	7,04	13,64	10,40
8	2,41	3,33	12,08	9,66	3,82	9,30	15,49	11,67	3,06	7,91	14,43	11,37
9	4,36	7,19	16,11	11,75	3,43	8,14	14,91	11,48	5,05	11,06	16,96	11,91
10	0,54	3,86	16,41	15,87	3,01	7,88	14,94	11,93	0,65	1,85	4,86	4,21
11	3,68	5,66	12,43	8,75	2,80	8,33	15,62	12,83	3,74	9,50	16,51	12,77
12	3,13	3,61	7,66	4,53	3,23	8,72	15,44	12,21	10,97	15,95	19,60	8,63
13	2,84	9,14	15,52	12,68	2,81	8,32	15,32	12,51	5,88	11,58	17,35	11,47
14	1,82	6,41	13,88	12,06	3,54	8,46	15,27	11,73	3,50	8,54	15,56	12,06
15	4,30	7,89	15,40	11,10	3,98	9,20	15,91	11,93	3,24	7,09	14,01	10,77
16	5,03	7,10	9,56	4,54	3,36	7,99	14,78	11,42	0,39	0,77	1,44	1,05
17	2,73	3,59	8,75	6,01	3,37	8,22	15,05	11,68	3,35	8,23	14,99	11,65
18	1,68	2,48	7,05	5,36	3,38	8,64	15,45	12,07	1,08	2,67	7,30	6,22
19	2,03	7,25	13,69	11,66	3,67	9,23	15,54	11,87	2,37	6,68	13,69	11,31
20	5,12	6,71	13,76	8,64	4,00	8,84	15,30	11,30	5,15	10,72	16,92	11,77
21	0,96	6,55	10,46	9,50	3,05	7,99	14,97	11,91	8,24	13,81	18,71	10,47
22	2,66	3,86	7,51	4,85	3,43	7,88	14,95	11,52	2,60	5,71	12,00	9,41
23	2,45	3,27	5,40	2,96	2,78	8,01	15,03	12,25	3,38	9,09	15,66	12,28
24	4,32	9,06	19,30	14,97	3,08	7,77	14,95	11,87	3,40	8,36	15,24	11,84

Tabelle 41

Approximation der Originalmatrix

Punktmuster Süd-VB ; ordinale Quartilentfernungen von Original, Stufen 3,5 und Erweiterung für die Versandpräferenzverteilung der VB

VB	Original				Stufe 3				Stufe 5				Erweiterung			
	1. Qu.	Med.	3. Qu.	1.-3.	1. Qu.	Med.	3. Qu.	1.-3.	1. Qu.	Med.	3. Qu.	1.-3.	1. Qu.	Med.	3. Qu.	1.-3.
1	1,93	7,35	14,22	12,29	2,03	6,89	13,98	11,95	0,97	4,50	11,47	10,50	2,08	7,56	14,15	12,07
2	2,91	6,51	11,36	8,45	3,10	7,39	14,36	11,26	4,40	9,69	16,40	11,99	2,91	6,78	12,26	9,36
3	2,82	5,21	9,62	6,80	1,86	6,44	13,60	11,74	13,43	18,64	21,29	7,85	9,21	14,37	17,78	8,57
4	1,70	5,07	11,15	9,45	3,76	8,83	15,69	11,93	1,99	5,40	11,21	9,22	1,77	4,65	9,48	7,71
5	0,74	3,60	9,69	8,95	3,56	8,97	15,83	12,27	1,21	3,84	10,56	9,35	2,00	5,13	12,09	10,09
6	2,55	8,54	13,62	11,06	3,28	8,27	15,10	11,82	0,41	0,83	1,93	1,51	3,63	7,56	13,75	10,12
7	3,25	6,47	11,78	8,52	3,74	9,20	15,51	11,77	2,14	5,71	12,31	10,17	3,14	7,32	14,23	11,09
8	1,42	2,15	8,82	7,40	4,04	9,75	15,96	11,92	1,81	3,85	8,69	6,87	1,49	3,47	7,81	6,31
9	3,43	6,60	11,13	7,70	3,83	8,70	15,53	11,70	4,06	9,67	15,88	11,82	3,60	7,12	13,12	9,52
10	1,44	1,98	12,91	11,48	3,38	8,78	15,47	12,09	1,13	2,40	6,62	5,49	0,91	1,66	5,02	4,11
11	0,81	4,35	8,16	7,35	3,53	8,73	15,65	12,12	1,48	4,53	9,52	8,04	0,96	4,75	11,14	10,18
12	1,44	1,92	6,35	4,91	3,74	9,35	16,17	12,43	2,96	8,13	15,74	12,79	1,83	3,79	18,75	6,92
13	4,55	10,00	14,74	10,19	3,64	9,55	16,09	12,46	6,28	13,22	18,06	11,78	4,28	11,55	16,37	12,09
14	3,07	6,88	14,03	10,96	3,48	9,31	15,79	12,31	3,58	10,10	16,20	12,61	2,77	7,05	13,92	11,15
15	6,98	9,90	19,14	12,16	3,72	9,49	16,30	12,58	3,85	10,30	17,53	13,68	1,74	5,86	13,30	11,56
16	3,69	7,80	9,03	5,34	3,19	7,37	14,08	10,89	5,19	10,93	17,46	12,27	3,28	4,46	9,66	6,39
17	0,99	3,51	7,49	6,50	3,34	8,22	14,78	11,44	4,09	9,14	15,94	11,85	0,87	3,27	5,35	4,48
18	0,87	1,60	7,24	6,37	3,29	8,68	15,24	11,95	0,67	1,39	2,46	1,79	1,23	2,69	7,25	6,02
19	3,35	7,63	9,86	6,51	3,62	8,63	14,66	11,04	5,12	9,88	15,94	10,82	2,90	7,68	13,75	10,85
20	3,39	4,90	12,10	8,71	3,74	8,56	15,18	11,44	5,67	11,95	17,53	11,86	4,48	7,52	16,71	12,23
21	4,29	5,37	6,55	2,26	3,99	8,86	15,73	11,74	4,82	10,45	17,54	12,71	2,47	4,96	11,51	9,04
22	3,48	4,72	9,51	6,02	3,04	7,32	14,13	11,09	3,98	9,19	15,33	11,35	3,52	6,76	16,63	13,11
23	3,07	3,72	5,40	2,34	3,60	9,08	15,11	11,51	4,57	10,71	16,30	11,72	3,42	8,81	15,97	12,55
24	3,69	10,76	18,22	14,52	3,47	7,73	14,81	11,34	4,21	9,02	15,59	11,37	3,42	5,76	12,24	8,82

Tabelle 42

Approximation der Originalmatrix

Punktmuster Süd-VB ; relative Parameter der S.A.E. für die Versandpräferenzverteilung der VB
bei Original, Stufen 3 und 5 sowie der Modellerweiterung

	F_r				ϵ_r				d_r			
	Orig.	St. 3	St. 5	Erw.	Orig.	St. 3	St. 5	Erw.	Orig.	St. 3	St. 5	Erw.
1	0,757	0,869	0,686	0,798	0,766	0,954	0,920	0,764	0,902	0,773	0,604	0,736
2	0,697	0,918	0,994	0,794	0,622	0,937	0,994	0,671	0,718	0,733	0,869	0,637
3	0,483	0,854	0,629	0,904	0,891	0,968	0,885	1,014	0,637	0,690	1,641	1,219
4	0,662	0,984	0,713	0,592	0,729	0,966	0,825	0,783	0,769	0,919	0,750	0,696
5	0,576	0,978	0,601	0,682	0,601	0,996	1,048	0,837	0,701	0,987	0,616	0,783
6	0,755	0,908	0,757	0,819	1,124	0,964	0,913	0,707	0,788	0,695	0,284	0,543
7	0,622	0,925	0,652	0,766	0,718	0,970	0,868	0,815	0,791	0,770	0,493	0,612
8	0,513	0,933	0,538	0,493	0,943	0,976	0,841	1,042	0,668	0,689	0,453	0,455
9	0,690	0,955	0,933	0,824	0,354	0,952	0,904	0,680	0,541	0,807	0,800	0,613
10	0,666	0,950	0,411	0,345	1,425	0,969	1,278	1,065	0,707	0,853	0,472	0,410
11	0,465	0,983	0,603	0,649	1,145	0,980	0,947	0,598	0,676	0,865	0,604	0,651
12	0,371	0,997	0,917	0,577	0,824	0,963	0,968	0,986	0,333	0,871	0,809	0,469
13	0,748	0,993	1,059	1,015	1,267	0,969	1,017	0,964	0,979	0,961	1,080	1,009
14	0,790	0,964	0,950	0,885	1,156	0,938	0,937	1,026	0,804	0,823	0,817	0,648
15	0,984	0,956	0,972	0,759	0,994	0,934	0,932	1,020	0,970	0,817	0,831	0,490
16	0,652	0,923	1,054	0,754	0,999	1,006	0,995	1,027	0,598	0,764	0,993	0,386
17	0,482	0,942	0,993	0,380	0,916	1,027	0,994	1,001	0,402	0,803	0,841	0,323
18	0,420	0,970	1,263	0,510	1,076	1,002	0,807	0,937	0,757	0,923	0,450	0,663
19	0,484	0,909	0,971	0,810	0,720	0,985	0,970	1,080	0,581	0,713	0,768	0,653
20	0,568	0,908	1,054	0,925	0,961	0,966	0,994	1,151	0,744	0,585	0,849	0,548
21	0,532	0,943	0,994	0,677	1,306	1,006	0,960	1,120	0,706	0,835	0,914	0,635
22	0,622	0,884	0,952	0,943	0,938	0,994	0,966	1,189	0,440	0,684	0,736	0,690
23	0,227	0,942	1,001	0,915	0,985	1,018	0,996	1,137	0,731	0,888	0,952	0,912
24	0,733	0,931	0,970	0,884	1,228	1,044	0,986	1,077	1,303	0,846	0,853	0,724

Tabelle 43

Approximation der Originalmatrix auf Stufe 3

Punktmuster Hexagonal, auf Süd-VB umgeordnet ; angenäherte Relationen mit einem Fehler unter 10 %

Quelle	Senken	Bedeutung* der Senken als Ziele	Anteil der Relationen am Versand (%)	Ordinale Entfern. der Rel.	Häufigkeit des Auftretens von			
					Nr.	als Senke	als Bedeutung	als ord. Entf.
1	7	1	18	5	1	2	2	0
2	5, 8	7, 8	7	8, 7	2	0	2	0
3	13,17	15,12	5	17,20	3	0	1	3
4	21	10	2	13	4	1	2	1
5	20	6	8	4	5	1	1	3
6	7,20,24	2, 6,12	28	5,11,21	6	0	5	0
7	14,24	3,15	13	15,21	7	2	2	2
8					8	2	4	1
9	12,22,24	14, 4, 9	17	20,12,19	9	3	3	3
10	15,18	20,12	1	14,21	10	1	4	3
11	23	17	0	23	11	2	2	3
12	1, 8, 9	6, 8, 7	9	9,10,17	12	1	3	0
13	24	9	3	11	13	1	0	3
14	1,17,22	11, 4, 1	29	14, 3, 7	14	2	2	4
15	17,20	8, 5	11	14,10	15	3	3	1
16	9,21	10,11	4	14,13	16	1	0	0
17	11,15	15,10	3	10, 9	17	3	1	2
18	4,15	6, 8	6	21,11	18	1	0	0
19	14	2	14	3	19	0	0	2
20	10	9	4	3	20	3	1	2
21					21	2	0	4
22	11	14	1	19	22	2	0	0
23	9,16	6,10	3	9, 5	23	1	0	1
24					24	4	0	0

* Bedeutung wird ausgedrückt als Rangplatz der Senke bei Ordnung nach Empfängen von der Quelle (absteigend)

Tabelle 44

Approximation der Originalmatrix auf Stufe 5

Punktmuster Hexagonal, auf Süd-VB umgeordnet ; angenäherte Relationen mit einem Fehler unter 10 %

Quelle	Senken	Bedeutung† der Senken als Ziele	Anteil der Relationen am Versand (%)	Ordinale Entfern. der Relat.	Häufigkeit des Auftretens von			
					Nr.	als Senke	als Bedeutung	als ordinale Entf.
1	7,24	1,14	19	5,21	1	3	4	0
2					2	0	2	2
3	10,22	17, 5	8	14,16	3	2	3	1
4	7	1	27	2	4	0	5	3
5	20	6	8	4	5	2	1	4
6	8,22	8, 4	14	4,16	6	1	3	1
7	3, 5,14, 22	14,11, 3, 1	28	5,10,15, 14	7	5	1	2
8					8	1	2	1
9	7,22,24	3, 4, 9	31	5,12,19	9	0	2	3
10					10	2	3	2
11					11	2	1	3
12	1, 6, 7, 22	6,15, 4, 2	36	9, 7,14, 11	12	0	0	1
13	1,16,19, 22,24	6,21,17, 2, 9	16	13, 4, 6, 9,11	13	1	1	1
14	17,22	4, 1	25	3, 7	14	2	2	4
15	5	10	2	22	15	1	3	1
16					16	2	1	2
17	11,15	15,10	3	10, 9	17	1	2	0
18	11	15	0	14	18	0	0	0
19					19	1	0	1
20	1, 7,13	8, 3,13	19	21, 8,23	20	1	0	0
21	10	7	2	2	21	0	†	2
22	3	16	1	22	22	7	0	2
23	14,16	4,10	11	11, 5	23	0	0	1
24					24	3	0	0

† Bedeutung wird ausgedrückt als Rangplatz der Senke bei Ordnung nach Empfängen von der Quelle (absteigend)

Tabelle 45

Approximation der Originalmatrix auf Stufe 3

Punktmuster Süd-VB ; angenäherte Relationen mit einem Fehler unter 10 %

Quelle	Senken	Bedeutung* der Senken als Ziele	Anteil der Relationen am Versand (%)	Ordinale Entfern. der Relat.	Häufigkeit des Auftretens von			
					Nr. als Senke	als Bedeutung	als ord. Entf.	
1	2, 3, 7	3, 6, 1	33	2, 1, 5	1	3	4	3
2	8,10	8,11	5	6,13	2	2	3	2
3	4,17	3,12	11	8,18	3	1	4	2
4	1, 6	4,15	7	5, 6	4	3	4	3
5					5	0	1	0
6	22	4	9	19	6	1	3	3
7	4,24	7,15	10	16,22	7	5	3	4
8					8	3	7	5
9	24	9	2	20	9	0	3	0
10	7,14,15 18	2, 7,20, 12	20	6,13,11, 23	10	1	2	2
11	15,23	8,17	2	8,22	11	1	2	3
12	1, 7, 8	6, 4, 8	20	8, 7,12	12	0	2	2
13	18,24	7, 9	7	15,19	13	0	0	2
14	4, 7,16, 17,22	6, 2,19, 4, 1	45	23,10, 7 3,11	14	2	0	0
15	14,17,20, 22	1, 8, 5, 3	48	1, 7, 5, 11	15	4	3	1
16	21	11	1	10	16	1	0	1
17	11,15,19	15,10, 8	5	17, 7, 2	17	3	1	1
18	15	8	2	8	18	2	0	1
19	1	9	2	22	19	1	1	3
20	7	3	12	12	20	1	1	1
21	22	2	19	4	21	1	0	0
22	8	10	4	8	22	5	0	3
23					23	1	0	2
24	2,22	8, 1	34	19, 1	24	3	0	0

* Bedeutung wird ausgedrückt als Rangplatz der Senke bei Ordnung nach Empfängen von der Quelle (absteigend)

Tabelle 46

Approximation der Originalmatrix auf Stufe 5

Punktmuster Süd-VB; angenäherte Relationen mit einem Fehler unter 10 %

Quelle	Senken	Bedeutung* der Senken als Ziele	Anteil der Relationen am Versand (%)	Ordinale Entfern. der Relat.	Häufigkeit des Auftretens von			
					Nr. als Senke	als Bedeutung	als ord. Entf.	
1	7, 8, 12	1, 12, 11	23	5, 7, 6	1	4	3	0
2	22	2	14	18	2	2	5	1
3					3	1	1	1
4	6	15	1	6	4	1	4	2
5	4, 7	2, 4	30	4, 6	5	0	2	3
6					6	1	2	4
7	9, 16, 22	4, 20, 1	21	2, 20, 17	7	3	0	4
8					8	1	2	1
9	22, 24	4, 9	16	16, 20	9	1	1	0
10	3	19	0	18	10	0	2	2
11					11	1	3	1
12	1, 13	6, 5	10	8, 3	12	1	4	2
13	1, 22	6, 2	22	14, 12	13	2	1	0
14	1, 22	11, 1	21	20, 11	14	1	0	1
15	17, 20	8, 5	11	7, 5	15	1	1	0
16	21	11	2	2	16	2	0	1
17	15, 20	10, 4	9	7, 6	17	1	0	1
18	13	12	1	10	18	0	0	2
19	11, 14	12, 2	15	20, 7	19	0	1	2
20	1, 2, 7	8, 12, 3	19	22, 19, 12	20	2	1	4
21	22	2	19	4	21	1	0	0
22					22	6	0	1
23	16	10	0	5	23	0	0	0
24	2	13	0	19	24	1	0	0

* Bedeutung wird ausgedrückt als Rangplatz der Senke bei Ordnung nach Empfängen von der Quelle (absteigend)

Tabelle 47

Approximation der Originalmatrix ; Vergleich der Stufen 3 und 5

Ergebnisse der Trendoberflächenanalyse zur Untersuchung der Veränderung der Widerstandsfunktion bei Übergang von Stufe 3 zu Stufe 5 ; Punktmuster Hexagonal, auf Süd-VB umgeordnet

$$\text{Ansatz : } z_{ij} = a_0 + a_1 x_{ij} + a_2 y_{ij} + a_3 x_{ij} y_{ij} + a_4 x_{ij}^2 + a_5 y_{ij}^2 \quad \text{Ansatz : } z_{ij} = a_0 + a_1 x_{ij}^2 + a_2 y_{ij}^2$$

mit

z_{ij} := Präferenzanteil der j-ten Senke auf Stufe 3
minus Präferenzanteil der j-ten Senke auf
Stufe 5 bei Quelle i

x_{ij} := Abszisse der Senke j in einem Koordinaten-
system mit Ursprung in Quelle i

y_{ij} := Ordinate der Senke j in einem Koordinaten-
system mit Ursprung in Quelle i

VB	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	r	$d(a_1, \dots, a_5)$
1	-4,89	3,47	-10,65	5,68	1,10	-3,97	0,89	13,217
2	1,85	-2,86	-0,30	-0,23	0,87	-1,45	0,95	3,344
3	-4,27	7,10	-6,65	5,36	-2,10	-0,83	0,92	11,334
4	-2,39	4,84	1,16	-2,23	-1,83	1,62	0,88	5,976
5	-6,35	5,47	14,29	-8,62	1,19	-5,98	0,79	18,590
6	-1,94	0,50	-4,74	3,80	2,77	-0,94	0,87	6,761
7	-0,82	0,52	-0,23	-0,19	0,48	2,37	0,80	2,491
8	-1,09	-0,69	-0,21	-0,41	2,73	3,69	0,81	4,664
9	1,74	-0,86	-1,14	2,19	-2,27	-2,77	0,89	4,434
10	-11,98	15,11	31,78	-21,53	2,01	-16,54	0,83	44,491
11	1,14	-1,84	1,17	-2,44	-1,13	-0,22	0,79	3,469
12	6,98	3,35	7,85	6,50	-6,52	-1,90	0,97	12,697
13	4,40	4,40	7,05	6,23	-0,83	0,91	0,92	10,459
14	0,13	-0,40	-0,87	0,06	-0,61	-1,46	0,62	1,850
15	-1,14	-0,56	-1,56	-0,71	2,44	0,59	0,87	3,091
16	-7,79	16,21	3,68	4,80	21,47	42,56	0,47	50,711
17	-0,08	-0,07	-1,15	-0,37	0,02	-1,11	0,58	1,642
18	-12,58	-23,59	0,71	0,98	-9,42	6,51	0,89	26,250
19	-1,52	-0,10	-0,41	-0,34	2,97	5,05	0,74	5,884
20	1,26	-0,48	-0,06	0,05	-2,65	-3,05	0,88	4,069
21	6,06	3,08	-9,89	-5,50	-4,17	1,86	0,97	12,585
22	-1,49	-1,32	0,44	2,53	1,62	2,77	0,83	4,317
23	1,44	1,08	-2,51	-2,05	-0,25	0,28	0,89	3,436
24	0,72	0,53	-0,89	-1,31	-0,07	-1,39	0,84	2,174

VB	a_0	a_1	a_2	r	$d(a_1, a_2)$
1	-2,03	1,74	2,60	0,67	3,13
2	1,00	-0,73	-2,00	0,81	2,13
3	-2,03	1,68	3,32	0,71	3,72
4	-1,10	1,02	1,68	0,63	1,96
5	-2,30	2,07	2,70	0,53	3,40
6	-1,57	2,42	3,33	0,69	4,12
7	-0,84	0,95	2,81	0,77	2,97
8	-0,97	1,93	3,32	0,74	3,84
9	1,60	-2,60	-3,48	0,86	4,34
10	-5,43	8,11	6,59	0,53	10,45
11	0,85	-1,77	-0,86	0,65	1,97
12	5,17	-7,03	-7,22	0,92	10,08
13	2,12	-2,01	-2,63	0,76	3,31
14	0,10	-0,12	-0,27	0,25	0,29
15	-1,23	2,88	2,62	0,80	3,89
16	-8,00	7,03	34,10	0,40	34,82
17	-0,03	0,03	0,04	0,06	0,05
18	-5,60	0,91	5,79	0,69	5,86
19	-1,56	3,09	5,20	0,73	6,05
20	1,28	-2,77	-3,15	0,85	4,19
21	3,97	-4,97	-5,42	0,87	7,35
22	-1,26	2,24	2,32	0,77	3,22
23	0,60	-0,16	-0,99	0,70	1,00
24	0,45	-0,18	-1,48	0,74	1,49

Tabelle 48

Approximation der Originalmatrix mit Modellerweiterung der Stufe 5

Punktmuster Süd-VB ; angenäherte Relationen mit einem Fehler unter 10 %

Quelle	Senken	Bedeutung* der Senken als Ziele	Anteil der Relationen am Versand (%)	Ordinale Entfern. der Relat.	Häufigkeit des Auftretens von			
					Nr. als Senke	als Bedeutung	als ord. Entf.	
1	24	14	1	22	1	3	5	8
2	3, 4, 7, 11,12	6, 3, 4, 12,19	37	1, 5, 4, 7, 9	2	1	5	3
3	4	3	8	8	3	4	6	2
4	6	15	1	6	4	2	5	4
5					5	0	4	4
6					6	4	2	2
7	1, 2, 6, 9,13,16	9,10,12, 4,17,20	22	6, 3, 1, 2,18,20	7	5	1	2
8					8	0	0	2
9	7,22	3, 4	29	1,16	9	2	2	2
10	3,23	19,10	1	18,12	10	1	4	1
11	3	7	4	3	11	3	4	5
12	1, 7,10 14	6, 4,11, 1	48	8, 7,17, 4	12	2	2	3
13	22,24	2, 9	20	12,19	13	3	0	0
14	3, 6, 7, 13,22	20,21, 2, 3, 1	45	15, 9,10, 2,11	14	3	2	0
15	14,20,22	1, 5, 3	44	1, 5,11	15	0	2	1
16	17,18,22	5, 1, 2	52	1, 4, 2	16	3	0	1
17	1,12,16	11,21, 5	8	22,11, 1	17	1	1	3
18	11	15	0	17	18	1	0	3
19	9,13	10,11	2	17,11	19	0	2	1
20	7,22	3, 2	26	12, 1	20	1	2	1
21	11,22,23	11, 2, 5	22	23, 4, 5	21	0	2	0
22					22	8	0	2
23	14,16	4,10	11	11, 5	23	2	0	1
24	6,22	14, 1	32	18, 1	24	2	0	0

* Bedeutung wird ausgedrückt als Rangplatz der Senke bei Ordnung nach Empfängen von der Quelle (absteigend)

Tabelle 49

Approximation der Originalmatrix mit nochmaliger Modellerweiterung

Punktmuster Süd-VB ; absolute und standardisierte Teilexponenten Versand, Empfang ; Ausgleichsfaktoren

VB	absolut		standardisiert		standardisiert unter Be- achtung der relat. Lage		Ausgleichsfaktoren	
	Versand	Empfang	Versand	Empfang	Versand	Empfang	A·10 ⁻²	B·10 ⁻²
1	-0,065	-0,569	-0,681	-1,379	-0,510	-1,787	0,107 -5	0,166 0
2	0,184	-0,348	-0,383	-1,181	-0,608	-0,843	0,388 -5	0,378 0
3	-1,324	0,811	-2,189	-1,425	-2,009	-0,484	0,116 -8	0,116 3
4	1,312	0,692	0,968	-0,249	1,128	-0,596	0,222 -2	0,126 3
5	1,066	1,704	0,673	0,658	0,836	0,360	0,462 -3	0,228 5
6	0,368	0,652	-0,163	-0,285	-0,377	0,169	0,955 -5	0,473 2
7	0,235	-0,433	-0,322	-1,257	-0,544	-0,929	0,478 -5	0,258 0
8	2,497	2,507	2,387	1,377	1,396	0,872	0,176	0,430 6
9	0,290	1,022	-0,256	0,029	-0,475	0,544	0,632 -5	0,383 3
10	1,655	0,174	1,378	-0,713	1,245	-0,315	0,473 -2	0,491 1
11	0,538	0,351	0,041	-0,555	0,207	-0,918	0,257 -4	0,156 2
12	1,392	2,933	1,063	1,759	0,913	2,479	0,181 -2	0,400 7
13	-0,279	1,342	-0,938	0,333	-0,765	0,018	0,308 -6	0,150 4
14	0,457	-0,060	-0,056	-0,923	-0,264	-0,552	0,132 -4	0,201 i
15	0,709	-0,330	0,245	-1,165	0,007	-1,179	0,379 -4	0,411 0
16	0,229	1,517	-0,329	0,490	-0,160	0,183	0,255 -5	0,410 4
17	1,157	0,714	0,782	-0,229	0,617	0,232	0,314 -3	0,872 2
18	1,564	2,769	1,269	1,612	1,428	1,366	0,654 -2	0,890 7
19	0,034	0,638	-0,563	-0,297	-0,517	-0,479	0,949 -6	0,468 2
20	-0,440	2,389	-1,130	1,271	-0,885	0,787	0,116 -6	0,230 6
21	0,669	-0,207	0,198	-1,055	0,002	-0,701	0,331 -4	0,715 0
22	-0,743	0,402	-1,493	-0,509	-1,776	-0,084	0,188 -7	0,199 2
23	0,204	2,894	-0,359	1,724	-0,190	1,484	0,337 -5	0,148 8
24	0,393	1,718	-0,133	0,670	0,035	0,373	0,799 -5	0,299 5
\bar{x}	0,504	0,970	Statist. Parameter nach räuml. Gruppen					
s	0,835	1,116	Versand :		Empfang :			
v	1,656	1,150	\bar{x} s		\bar{x} s			
			R	0,364 0,840	R	1,323 1,058		
			ZL	0,566 0,693	ZL	0,485 0,988		
			Z	0,700 1,287	Z	1,301 1,383		

Bei Betrachtung der Vorzeichen der Teilexponenten ist auf die verwendete Entfernungsfunktion $f(d_{ij}) = d_{ij}^- d_{ij}^+$ zu achten.

Tabelle 50

Approximation der Originalmatrix auf Stufe 3

Punktmuster Hexagonal, auf Süd-VB umgeordnet; modellhaft berechnete Präferenzmatrix

																									Bestimmtheitsmaß		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	abs.	Δ	rel.
1		1,26	2,04	0,97	0,94	2,03	1,22	0,99	0,86	0,89	2,58	0,98	0,83	0,91	1,16	0,72	0,77	0,86	0,79	0,86	0,87	0,84	0,85	0,82	0,543	0,171	0,523
2	1,22		1,80	2,04	1,16	0,98	1,54	0,90	0,98	0,97	0,93	0,66	0,62	0,70	0,78	0,61	0,62	0,74	0,67	0,84	0,86	0,76	0,81	0,73	0,591	-0,056	-0,691
3	2,09	1,90		1,15	0,96	1,37	1,57	0,94	0,88	0,87	1,19	0,73	0,67	0,74	0,89	0,62	0,64	0,74	0,69	0,80	0,81	0,75	0,78	0,72	-0,068	-0,160	-1,247
4	0,99	2,13	1,14		1,63	0,87	1,62	0,94	1,29	1,16	0,82	0,62	0,59	0,67	0,75	0,60	0,60	0,72	0,67	0,92	0,92	0,78	0,84	0,73	0,689	0,257	0,662
5	0,88	1,11	0,87	1,49		0,78	1,07	0,91	1,60	2,73	0,77	0,62	0,61	0,70	0,73	0,66	0,64	0,80	0,73	1,13	1,23	0,92	1,02	0,84	0,615	0,272	0,783
6	2,07	1,03	1,36	0,88	0,85		1,41	1,34	0,87	0,82	2,19	0,87	0,72	0,85	1,60	0,66	0,68	0,75	0,79	0,86	0,79	0,79	0,76	0,73	0,398	0,096	0,122
7	1,23	1,59	1,53	1,60	1,15	1,39		1,58	1,38	1,02	1,01	0,69	0,63	0,74	0,94	0,64	0,63	0,73	0,75	1,00	0,89	0,81	0,82	0,74	0,427	0,300	1,213
8	0,95	0,89	0,88	0,88	0,94	1,27	1,51		1,42	0,96	0,92	0,68	0,62	0,79	1,17	0,68	0,62	0,71	0,97	1,43	0,88	0,88	0,80	0,74	0,375	0,105	0,332
9	0,82	0,96	0,81	1,21	1,64	0,81	1,31	1,41		1,68	0,74	0,58	0,55	0,66	0,75	0,62	0,57	0,69	0,75	1,64	1,05	0,86	0,86	0,74	0,517	-0,089	-2,126
10	0,80	0,90	0,76	1,02	2,63	0,72	0,91	0,89	1,58		0,72	0,60	0,59	0,70	0,71	0,69	0,64	0,81	0,77	1,45	1,73	1,03	1,16	0,89	0,246	0,215	0,324
11	2,61	0,97	1,17	0,82	0,84	2,17	1,01	0,97	0,79	0,81		1,28	0,93	1,03	1,67	0,74	0,81	0,86	0,84	0,83	0,83	0,83	0,82	0,81	0,084	0,037	-1,111
12	1,09	0,76	0,80	0,68	0,75	0,96	0,77	0,79	0,68	0,75	1,42		2,11	1,84	1,43	0,87	1,09	0,97	0,91	0,77	0,81	0,87	0,83	0,88	0,701	0,246	0,574
13	0,91	0,70	0,70	0,63	0,71	0,77	0,68	0,70	0,63	0,72	0,99	2,05		2,05	0,97	0,95	1,76	1,14	0,86	0,73	0,80	0,88	0,84	0,94	0,310	-0,236	-1,654
14	0,91	0,72	0,72	0,66	0,76	0,83	0,74	0,82	0,70	0,78	1,02	1,64	1,88		1,32	1,45	1,67	1,16	1,37	0,85	0,88	1,07	0,92	1,04	0,836	0,152	0,421
15	1,20	0,84	0,90	0,76	0,82	1,62	0,97	1,27	0,82	0,83	1,71	1,33	0,93	1,37		0,86	0,85	0,87	1,21	0,95	0,86	0,94	0,84	0,85	0,772	0,124	-0,409
16	0,69	0,60	0,57	0,57	0,68	0,62	0,61	0,67	0,62	0,74	0,70	0,74	0,84	1,39	0,79		1,25	1,38	1,59	0,83	0,91	1,73	1,03	1,63	0,066	0,157	-0,143
17	0,83	0,69	0,68	0,64	0,74	0,72	0,68	0,70	0,65	0,77	0,86	1,05	1,75	1,81	0,88	1,41		1,85	0,96	0,78	0,89	1,05	0,98	1,23	0,258	0,201	0,211
18	0,84	0,74	0,71	0,69	0,84	0,72	0,71	0,73	0,72	0,88	0,83	0,85	1,03	1,14	0,82	1,41	1,68		0,94	0,86	1,07	1,27	1,29	2,16	0,386	0,115	0,480
19	0,75	0,65	0,63	0,63	0,75	0,74	0,71	0,95	0,75	0,81	0,78	0,77	0,75	1,30	1,11	1,57	0,84	0,91		1,17	0,95	1,68	0,94	1,02	0,711	0,328	1,235
20	0,80	0,81	0,73	0,85	1,14	0,79	0,93	1,39	1,61	1,52	0,77	0,65	0,63	0,80	0,86	0,81	0,68	0,83	1,15		1,50	1,38	1,11	0,94	0,335	0,109	0,191
21	0,77	0,78	0,70	0,80	1,17	0,69	0,78	0,81	0,97	1,70	0,72	0,64	0,65	0,78	0,73	0,84	0,72	0,97	0,89	1,41		1,55	2,50	1,21	0,282	-0,035	-1,742
22	0,79	0,74	0,69	0,72	0,93	0,73	0,76	0,86	0,85	1,08	0,78	0,73	0,77	1,01	0,86	1,71	0,92	1,22	1,67	1,39	1,66		1,83	2,02	0,533	0,283	1,422
23	0,75	0,74	0,67	0,72	0,97	0,66	0,72	0,73	0,80	1,14	0,71	0,65	0,68	0,81	0,72	0,94	0,80	1,16	0,87	1,05	2,49	1,71		1,75	0,267	0,135	0,776
24	0,73	0,67	0,63	0,64	0,81	0,64	0,66	0,69	0,69	0,88	0,71	0,70	0,77	0,93	0,73	1,52	1,01	1,96	0,96	0,89	1,22	1,91	1,76		0,735	0,093	0,154

Einige Kennzahlen der Approximation

Exponent	:	0,447
Bestimmtheitsmaß (global)	:	0,632
Fehlerquadrat (global)	:	399 839 230,0
Relative Entropiedifferenz	:	0,033

Δ : Differenz der Bestimmtheitsmaße von Stufe 3 und Stufe 1

Tabelle 51

Approximation der Originalmatrix auf Stufe 5

Punktmuster Hexagonal, auf Süd-VB umgeordnet ; modellhaft berechnete Präferenzmatrix

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Versand- exponent	Bestimmtheitsmaß absolut relativ	
1		1,16	3,02	0,85	0,67	3,20	1,30	0,97	0,70	0,68	4,66	1,15	0,85	0,98	1,39	0,58	0,66	0,68	0,67	0,72	0,66	0,71	0,64	0,53	0,781 (7)	0,502	0,305
2	1,24		1,49	1,65	1,04	0,89	1,31	0,84	0,87	0,98	0,94	0,86	0,82	0,91	0,87	0,66	0,76	0,92	0,68	0,84	0,94	0,87	0,94	0,73	0,332 (18)	0,694	0,075
3	3,29	2,51		1,10	0,62	1,64	2,10	0,85	0,66	0,57	1,15	0,62	0,50	0,61	0,81	0,38	0,41	0,44	0,46	0,58	0,50	0,50	0,46	0,36	0,883 (4)	-0,750	-2,395
4	0,83	2,74	1,06		1,66	0,72	2,01	0,86	1,34	1,05	0,63	0,52	0,47	0,58	0,64	0,43	0,43	0,51	0,50	0,80	0,72	0,62	0,62	0,44	0,750 (9)	0,675	0,372
5	0,61	0,89	0,63	1,80		0,55	0,99	0,80	2,14	5,32	0,51	0,47	0,44	0,57	0,57	0,46	0,42	0,53	0,54	1,15	1,16	0,76	0,81	0,51	0,856 (5)	0,731	0,546
6	2,98	0,80	1,46	0,69	0,55		1,65	1,63	0,69	0,58	3,43	0,93	0,64	0,86	2,39	0,49	0,52	0,52	0,66	0,71	0,55	0,61	0,51	0,43	0,784 (6)	0,209	-0,314
7	1,23	1,67	1,72	1,88	0,97	1,54		1,99	1,49	0,90	0,92	0,68	0,58	0,74	0,97	0,51	0,52	0,59	0,64	0,95	0,74	0,72	0,66	0,50	0,687 (13)	0,457	0,861
8	0,82	0,67	0,73	0,75	0,70	1,33	1,75		1,55	0,81	0,80	0,66	0,55	0,80	1,36	0,55	0,50	0,55	0,93	1,64	0,72	0,80	0,62	0,49	0,694 (11)	0,387	0,036
9	1,05	0,98	0,90	1,05	1,18	0,81	1,04	0,98		1,26	0,90	0,91	0,91	1,01	0,90	0,76	0,86	1,08	0,78	1,14	1,13	1,03	1,12	0,85	0,168 (21)	0,632	0,111
10	0,20	0,29	0,21	0,58	8,56	0,23	0,45	0,54	2,92		0,18	0,17	0,15	0,25	0,26	0,24	0,16	0,21	0,35	2,15	2,49	0,61	0,64	0,27	1,454 (2)	0,610	0,775
11	2,03	0,94	1,07	0,85	0,84	1,50	0,95	0,88	0,74	0,88		1,35	1,10	1,21	1,44	0,78	0,93	1,06	0,80	0,84	0,94	0,95	0,98	0,80	0,294 (19)	0,119	0,166
12	0,97	1,68	1,19	1,59	1,85	0,53	1,04	0,67	1,03	1,74	0,37		0,13	0,20	0,25	0,60	0,55	1,45	0,48	1,00	1,78	1,14	1,98	1,19	-0,948 (24)	0,030	-0,431
13	1,18	1,02	0,97	0,96	1,02	0,83	0,91	0,80	0,80	1,06	1,01	1,07		1,16	0,95	0,85	1,04	1,31	0,80	0,91	1,15	1,09	1,24	0,98	0,008 (22)	0,565	-0,003
14	0,97	0,72	0,74	0,69	0,73	0,78	0,74	0,78	0,65	0,81	1,00	1,73	1,94		1,30	1,30	1,63	1,28	1,18	0,84	0,93	1,12	1,00	0,93	0,361 (15)	0,839	0,375
15	1,20	0,62	0,76	0,61	0,58	1,99	0,89	1,43	0,67	0,65	2,11	1,88	1,06	1,94		0,81	0,83	0,77	1,35	0,89	0,70	0,91	0,69	0,62	0,692 (12)	0,833	0,302
16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,07	0,00		0,30	0,09	2,98	0,00	0,00	4,64	0,00	0,92	5,000 (1)	-2,398	-2,692
17	0,90	0,69	0,69	0,66	0,71	0,69	0,69	0,69	0,62	0,79	0,87	1,22	1,86	1,95	0,94	1,29		1,89	0,90	0,79	0,94	1,11	1,06	1,07	0,369 (14)	0,232	0,290
18	0,29	0,19	0,20	0,20	0,25	0,27	0,25	0,33	0,27	0,35	0,34	0,63	1,05	1,39	0,50	2,85	4,38		0,80	0,48	0,63	1,44	1,08	5,57	1,429 (3)	0,522	1,463
19	0,54	0,39	0,42	0,42	0,47	0,56	0,52	0,90	0,56	0,60	0,60	0,78	0,73	1,76	1,25	2,11	0,79	0,79		1,20	0,79	2,23	0,78	0,79	0,727 (10)	0,783	0,560
20	1,00	0,89	0,84	0,90	1,03	0,79	0,91	1,02	1,07	1,25	0,88	0,92	0,92	1,06	0,94	0,84	0,89	1,11	0,93		1,32	1,26	1,22	0,91	0,210 (20)	0,249	0,008
21	1,61	1,34	1,29	1,11	0,95	1,00	1,02	0,78	0,70	0,67	1,31	1,35	1,40	1,28	1,07	0,81	1,23	1,48	0,71	0,59		0,70	0,60	0,85	0,411 (23)	0,303	-1,359
22	0,58	0,47	0,46	0,51	0,66	0,54	0,58	0,76	0,68	0,96	0,57	0,70	0,74	1,18	0,82	2,57	0,91	1,27	2,41	1,66	2,01		2,38	2,53	0,764 (8)	0,662	1,089
23	0,84	0,74	0,70	0,75	0,90	0,65	0,73	0,72	0,74	1,10	0,76	0,83	0,86	1,01	0,80	0,92	0,90	1,29	0,83	1,00	2,14	1,63		1,41	0,353 (16)	0,236	-0,102
24	0,84	0,70	0,68	0,69	0,79	0,65	0,69	0,69	0,66	0,91	0,77	0,89	0,96	1,13	0,82	1,32	1,09	1,92	0,89	0,88	1,22	1,74	1,68		0,337 (17)	0,752	-0,038

Einige Kennzahlen der Approximation

Bestimmtheitsmaß (global) : 0,660
 Fehlerquadrat (global) : 370 015 230,0
 Relative Entropiedifferenz : 0,081

\bar{x} 0,691
 s 1,051
 v 1,522
 max 5,000
 min-0,948
 range 5,948
 Median0,689

Tabelle 52

Approximation der Originalmatrix auf Stufe 3

Punktmuster Süd-VB ; modellhaft berechnete Präferenzmatrix

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Best.maß abs. rel.		Ausgleichsfaktoren A·10 ⁴ B	
1		2,16	4,18	1,41	0,95	1,46	1,27	0,92	0,97	0,81	1,82	1,06	0,83	0,77	0,71	0,62	0,66	0,75	0,63	0,66	0,78	0,68	0,74	0,70	0,752	1,372	0,129	0,994
2	2,10		2,06	1,70	1,02	1,53	1,53	1,03	1,14	0,83	1,29	0,91	0,69	0,74	0,68	0,60	0,63	0,70	0,63	0,67	0,80	0,67	0,72	0,69	0,561	-0,449	0,118	0,978
3	4,14	2,10		1,27	0,86	1,49	1,22	0,86	0,90	0,73	1,57	1,00	0,72	0,70	0,65	0,55	0,59	0,66	0,57	0,60	0,71	0,61	0,66	0,63	-0,184	-1,191	0,109	0,850
4	1,35	1,67	1,22		1,82	1,03	1,12	0,96	1,44	1,28	1,13	0,87	0,73	0,75	0,66	0,72	0,72	0,84	0,71	0,78	1,03	0,83	0,93	0,86	0,627	0,015	0,164	1,326
5	0,90	0,99	0,82	1,80		0,79	1,06	1,19	1,51	2,06	0,82	0,73	0,70	0,76	0,64	0,79	0,77	0,88	0,78	0,89	1,26	0,94	1,03	0,94	0,591	0,645	0,146	1,197
6	1,48	1,60	1,53	1,09	0,85		1,90	0,88	1,05	0,80	1,24	1,07	0,73	0,81	0,79	0,58	0,64	0,68	0,63	0,67	0,77	0,66	0,69	0,66	0,447	0,453	0,099	0,766
7	1,25	1,55	1,22	1,16	1,11	1,85		1,34	1,62	1,07	1,10	0,95	0,75	0,87	0,84	0,71	0,73	0,78	0,80	0,86	1,02	0,82	0,85	0,81	0,453	1,161	0,128	1,021
8	0,85	0,98	0,80	0,92	1,17	0,81	1,26		1,12	1,54	0,71	0,73	0,68	0,81	0,71	0,75	0,78	0,78	1,12	1,23	1,45	1,00	0,97	0,91	0,354	-0,210	0,098	0,881
9	0,96	1,15	0,89	1,48	1,57	1,01	1,61	1,18		1,43	0,88	0,76	0,65	0,72	0,66	0,67	0,69	0,76	0,71	0,82	1,02	0,80	0,85	0,80	0,608	-2,276	0,121	0,956
10	0,77	0,81	0,70	1,28	2,08	0,75	1,03	1,59	1,39		0,75	0,74	0,71	0,79	0,67	0,81	0,78	0,86	0,84	0,99	1,54	1,02	1,08	0,98	0,213	-0,139	0,126	1,023
11	1,82	1,33	1,59	1,18	0,87	1,23	1,12	0,77	0,90	0,79		1,85	1,25	1,04	0,89	0,74	0,83	0,90	0,74	0,73	0,77	0,75	0,81	0,77	0,178	-0,744	0,135	1,044
12	1,10	0,97	1,04	0,94	0,80	1,10	1,00	0,82	0,81	0,81	1,91		1,56	1,43	1,30	0,82	0,97	0,97	0,87	0,82	0,78	0,81	0,85	0,81	0,628	-0,246	0,122	0,913
13	0,87	0,74	0,76	0,80	0,78	0,75	0,79	0,77	0,70	0,78	1,31	1,57		1,97	1,14	0,92	1,14	1,07	0,93	0,88	0,79	0,86	0,89	0,85	0,250	-1,269	0,126	0,967
14	0,76	0,75	0,70	0,77	0,79	0,79	0,87	0,87	0,73	0,81	1,02	1,36	1,85		1,90	1,05	1,44	1,15	1,13	1,03	0,84	0,94	0,94	0,89	0,807	0,368	0,123	1,058
15	0,76	0,75	0,70	0,74	0,72	0,84	0,91	0,82	0,72	0,75	0,95	1,34	1,17	2,06		0,80	0,99	0,90	1,06	0,95	0,76	0,86	0,85	0,81	0,855	0,158	0,097	0,720
16	0,54	0,54	0,49	0,66	0,73	0,50	0,63	0,71	0,60	0,75	0,64	0,68	0,77	0,93	0,65		1,90	1,73	1,28	1,03	0,92	1,78	1,19	1,48	0,198	1,131	0,105	0,939
17	0,63	0,62	0,58	0,72	0,78	0,60	0,71	0,81	0,67	0,79	0,80	0,89	1,04	1,40	0,89	2,09		1,83	1,61	1,06	0,86	1,26	1,04	1,20	0,274	0,277	0,119	0,963
18	0,69	0,66	0,62	0,81	0,86	0,62	0,73	0,78	0,71	0,84	0,83	0,86	0,95	1,08	0,77	1,83	1,76		1,10	0,95	0,96	1,33	1,19	1,67	0,406	0,746	0,156	1,307
19	0,57	0,58	0,52	0,67	0,75	0,56	0,73	1,10	0,66	0,79	0,67	0,75	0,80	1,04	0,89	1,32	1,51	1,08		1,43	0,90	1,50	1,04	1,15	0,676	1,179	0,094	0,807
20	0,60	0,62	0,54	0,74	0,85	0,59	0,78	1,19	0,75	0,93	0,66	0,71	0,75	0,94	0,80	1,06	0,99	0,93	1,42		1,30	1,85	1,40	1,30	0,008	-0,964	0,102	0,845
21	0,71	0,74	0,65	0,97	1,21	0,69	0,94	1,42	0,94	1,47	0,70	0,68	0,68	0,77	0,64	0,96	0,82	0,94	0,91	1,32		1,33	1,46	1,16	0,342	-1,316	0,117	0,991
22	0,61	0,62	0,55	0,77	0,89	0,58	0,74	0,97	0,73	0,95	0,66	0,70	0,73	0,85	0,71	1,83	1,17	1,28	1,48	1,83	1,30		1,81	2,30	0,412	0,520	0,126	1,008
23	0,63	0,63	0,57	0,83	0,93	0,58	0,74	0,89	0,74	0,97	0,69	0,70	0,73	0,81	0,68	1,17	0,92	1,10	0,99	1,33	1,37	1,73		1,42	0,292	1,215	0,125	1,149
24	0,57	0,58	0,52	0,74	0,82	0,53	0,67	0,80	0,67	0,84	0,63	0,64	0,66	0,74	0,62	1,38	1,02	1,47	1,04	1,18	1,04	2,11	1,36		0,714	-0,435	0,118	1,146

Einige Kennzahlen der Approximation

Exponent	:	0,714
Bestimmtheitsmaß (global)	:	0,616
Fehlerquadrat (global)	:	417 289 980,0
Relative Entropiedifferenz	:	0,034

Tabelle 53

Approximation der Originalmatrix auf Stufe 5

Punktmuster Süd-VB ; modellhaft berechnete Präferenzmatrix

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Versand- exponent	Best.maß abs. rel.
1		2,21	6,77	1,32	0,68	1,18	1,15	0,72	0,67	0,50	2,34	1,22	0,86	0,87	0,76	0,40	0,46	0,58	0,55	0,54	0,57	0,60	0,62	0,57	1,049 (9)	0,692 0,539
2	1,76		1,40	1,64	1,00	0,86	1,15	0,84	0,86	0,72	1,41	1,14	0,98	1,10	0,88	0,65	0,68	1,00	0,78	0,76	0,81	0,93	1,03	0,95	0,482 (13)	0,750 0,427
3	0,01	0,04		0,68	1,29	0,04	0,15	0,31	0,42	1,01	0,19	0,43	1,16	1,10	0,55	1,90	1,53	4,59	1,19	1,06	1,19	2,04	3,29	3,15	-2,000 (24)	-1,895 -0,655
4	1,84	2,87	1,52		2,67	0,88	1,11	0,79	1,79	1,14	1,07	0,71	0,43	0,57	0,53	0,29	0,30	0,32	0,45	0,53	0,73	0,55	0,54	0,45	2,033 (6)	0,652 -0,155
5	0,54	0,64	0,46	2,62		0,40	0,95	1,56	2,21	5,04	0,38	0,39	0,35	0,54	0,44	0,34	0,33	0,31	0,56	0,73	1,32	0,74	0,66	0,52	2,227 (5)	0,745 1,305
6	0,60	1,15	1,46	0,01	0,00		5,55	0,04	0,05	0,00	0,13	0,11	0,01	0,02	0,06	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	5,000 (1)	-5,195 -2,472
7	1,45	2,03	1,39	0,80	0,71	3,55		1,82	2,14	0,71	1,04	0,96	0,54	0,93	1,05	0,33	0,38	0,34	0,67	0,73	0,77	0,61	0,51	0,45	1,748 (7)	0,496 0,565
8	0,32	0,53	0,32	0,19	0,58	0,36	1,86		0,83	2,50	0,14	0,25	0,19	0,51	0,50	0,19	0,24	0,11	1,93	2,41	2,43	0,78	0,37	0,31	2,929 (3)	0,520 0,430
9	0,95	0,91	0,76	1,51	1,46	0,71	1,56	1,05		1,18	0,93	0,86	0,73	0,92	0,77	0,53	0,57	0,73	0,74	0,81	0,91	0,88	0,90	0,81	0,884 (10)	0,676 -1,358
10	0,22	0,24	0,19	0,71	5,23	0,26	0,77	4,96	1,80		0,18	0,27	0,22	0,44	0,38	0,26	0,24	0,17	0,56	0,92	2,75	0,79	0,58	0,42	2,776 (4)	0,496 1,811
11	3,53	1,35	2,59	0,84	0,39	1,27	1,05	0,47	0,51	0,34		4,72	1,87	1,41	1,19	0,36	0,51	0,48	0,56	0,49	0,38	0,49	0,45	0,41	1,722 (8)	0,248 -0,307
12	1,14	0,75	0,92	0,91	0,67	0,77	0,87	0,68	0,60	0,61	2,30		2,05	2,05	1,70	0,70	0,88	1,03	0,95	0,83	0,68	0,93	0,95	0,87	0,810 (11)	0,752 0,463
13	1,11	0,81	0,81	1,58	1,26	0,55	0,83	0,74	0,84	0,91	1,17	0,99		0,98	0,79	0,90	0,86	1,61	0,91	0,88	1,03	1,24	1,55	1,44	-0,212 (23)	0,460 0,329
14	0,86	0,63	0,65	0,91	0,80	0,54	0,77	0,74	0,61	0,69	1,18	1,51	1,97		1,85	0,93	1,22	1,37	1,17	1,02	0,82	1,15	1,19	1,09	0,532 (12)	0,799 0,433
15	0,92	0,67	0,70	1,00	0,84	0,57	0,82	0,72	0,65	0,71	1,17	1,43	1,37	2,03		0,80	0,93	1,24	1,09	0,96	0,82	1,12	1,20	1,10	0,405 (16)	0,826 -0,492
16	1,10	0,78	0,81	1,42	1,15	0,56	0,82	0,74	0,79	0,86	1,28	1,18	1,22	1,26	0,92		0,89	1,52	0,93	0,89	0,97	1,18	1,45	1,32	-0,030 (21)	0,019 -1,037
17	0,88	0,63	0,66	1,06	0,93	0,49	0,73	0,72	0,66	0,75	1,10	1,15	1,27	1,54	1,01	1,25		1,78	1,27	0,99	0,90	1,35	1,37	1,37	0,314 (19)	0,220 -0,612
18	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,04	0,08	0,02	0,04	0,04	0,13	0,23	0,81	0,26	9,98	8,77		1,07	0,35	0,12	1,58	0,29	2,83	4,579 (2)	0,703 1,452
19	0,84	0,61	0,63	1,02	0,91	0,48	0,74	0,83	0,65	0,75	1,02	1,06	1,13	1,35	1,01	1,03	1,13	1,41		1,14	0,92	1,46	1,37	1,35	0,322 (18)	0,670 0,383
20	1,13	0,79	0,82	1,45	1,16	0,57	0,82	0,71	0,79	0,86	1,31	1,20	1,24	1,26	0,91	0,89	0,91	1,59	0,91		0,95	1,15	1,43	1,33	-0,060 (22)	0,082 0,299
21	0,90	0,67	0,68	1,18	1,12	0,51	0,82	0,95	0,76	1,00	1,00	0,99	1,03	1,16	0,86	0,88	0,84	1,30	0,98	1,11		1,39	1,60	1,34	0,355 (17)	0,273 -1,220
22	0,80	0,60	0,60	1,01	0,94	0,46	0,72	0,80	0,66	0,81	0,95	0,99	1,05	1,23	0,91	1,30	1,03	1,52	1,33	1,41	1,12		1,85	2,02	0,417 (15)	0,557 0,533
23	0,90	0,65	0,67	1,16	1,02	0,49	0,75	0,75	0,70	0,83	1,06	1,05	1,10	1,22	0,90	0,96	0,90	1,44	1,01	1,07	1,09	1,50		1,46	0,276 (20)	0,246 -0,333
24	0,78	0,57	0,58	0,98	0,89	0,44	0,68	0,71	0,62	0,75	0,92	0,94	0,99	1,13	0,84	1,11	0,95	1,65	1,09	1,10	0,98	1,91	1,58		0,426 (14)	0,757 -0,328

Einige Kennzahlen der Approximation

Bestimmtheitsmaß (global) : 0,680
 Fehlerquadrat (global) : 348 030 970,0
 Relative Entropiedifferenz : 0,094

\bar{x} 1,124
 s 1,547
 v 1,376
 Median 0,507
 max 2,000
 min -5,000
 range 7,000

Tabelle 54

Approximation der Originalmatrix

Punktmuster Süd-VB : alle Approximationstufen ; statistische Parameter der gewichtsmäßigen und räumlichen Verteilung der Versandpräferenzen original und approximiert für ausgewählte VB

Statistische Parameter der gewichtsmäßigen Verteilung

VB 8

Stufe	1.Qu.	Med.	3.Qu.	3.-1.	\bar{x}	s	v	max	min	range	Entr.	B.mäß
Orig.	0,05	0,21	0,76	0,71	0,68	1,24	1,83	6,00	0,00	6,00	0,684	0,270*
3	0,78	0,91	1,12	0,34	0,96	0,24	0,25	1,45	0,68	0,77	0,991	0,354
5	0,24	0,37	0,83	0,59	0,78	0,81	1,05	2,50	0,11	2,39	0,860	0,520
Erw.	0,19	0,40	1,16	0,97	0,81	1,07	1,31	4,81	0,04	4,77	0,814	0,886

VB 11

Stufe	1.Qu.	Med.	3.Qu.	3.-1.	\bar{x}	s	v	max	min	range	Entr.	B.mäß
Orig.	0,10	0,26	0,88	0,78	1,31	2,32	1,77	8,50	0,00	8,50	0,645	0,047*
3	0,77	0,89	1,23	0,46	1,03	0,34	0,33	1,85	0,73	1,12	0,985	0,178
5	0,45	0,51	1,35	0,90	1,12	1,12	1,00	4,72	0,34	4,38	0,884	0,248
Erw.	0,35	0,75	1,32	0,97	1,09	1,31	1,20	6,55	0,13	6,42	0,860	0,293

VB 16

Stufe	1.Qu.	Med.	3.Qu.	3.-1.	\bar{x}	s	v	max	min	range	Entr.	B.mäß
Orig.	0,00	0,57	1,62	1,62	1,43	2,03	1,43	7,49	0,00	7,49	0,725	-0,091*
3	0,63	0,73	1,19	0,56	0,92	0,43	0,47	1,90	0,49	1,41	0,969	0,198
5	0,82	0,97	1,26	0,44	1,04	0,26	0,25	1,52	0,56	0,96	0,991	0,019
Erw.	0,29	0,67	0,93	0,64	0,97	1,24	1,29	5,96	0,08	5,88	0,842	0,626

VB 1

Stufe	1.Qu.	Med.	3.Qu.	3.-1.	\bar{x}	s	v	max	min	range	Entr.	B.mäß
Orig.	0,41	0,78	1,45	1,01	1,20	1,12	0,93	4,50	0,00	4,50	0,886	0,372*
3	0,70	0,81	1,27	0,57	1,11	0,78	0,70	4,18	0,62	3,56	0,947	0,752
5	0,57	0,68	1,18	0,61	1,14	1,33	1,17	6,77	0,40	6,37	0,880	0,692
Erw.	0,47	0,82	1,39	0,92	1,04	1,00	0,96	5,08	0,15	4,93	0,900	0,526

VB 24

Stufe	1.Qu.	Med.	3.Qu.	3.-1.	\bar{x}	s	v	max	min	range	Entr.	B.mäß
Orig.	0,05	0,29	0,52	0,47	0,54	0,68	1,28	2,19	0,00	2,19	0,772	0,642*
3	0,63	0,74	1,04	0,41	0,90	0,39	0,43	2,11	0,52	1,59	0,975	0,714
5	0,71	0,94	1,10	0,39	0,96	0,35	0,37	1,91	0,44	1,47	0,981	0,757
Erw.	0,32	0,83	1,02	0,70	0,87	0,70	0,80	2,56	0,05	2,51	0,911	0,749

Abkürzungen : 1.Qu. := 1. Quartil
Med. := Median
3.Qu. := 3. Quartil
3.-1. := Interquartil-
variationsbreite

Entr. := relative Entropie
B.mäß := Bestimmtheitsmaß
*: Angabe des Best.mäß
von Stufe 1

Statistische Parameter der räumlichen Verteilung

Stufe	Entf. im Relativraum				Parameter der S.A.E.(absolut u. relativ)					
	1.Qu.E.	Med.E.	3.Qu.E.	3.-1.	F	d	f	F	d	f
Orig.	1,42	2,15	8,82	7,40	26,15	1,28	0,75	0,51	0,67	0,94
3	4,04	9,75	15,96	11,92	41,61	1,24	0,63	0,93	0,69	0,98
5	1,81	3,85	8,69	6,87	28,88	0,82	0,50	0,54	0,45	0,84
Erw.	1,49	3,47	7,81	6,31	26,65	0,82	0,62	0,49	0,46	1,04

Stufe	Entfernung im Relativraum				Parameter der S.A.E.(absolut u. relativ)					
	1.Qu.E.	Med.E.	3.Qu.E.	3.-1.	F	d	f	F	d	f
Orig.	0,81	4,35	8,16	7,35	27,83	4,83	0,52	0,46	0,68	1,14
3	3,53	8,73	15,65	12,12	40,66	6,14	0,67	0,98	0,86	0,98
5	1,48	4,53	9,52	8,04	35,02	4,28	0,65	0,60	0,60	0,95
Erw.	0,96	4,75	11,14	10,18	36,29	4,62	0,41	0,65	0,65	0,60

Stufe	Entfernung im Relativraum				Parameter der S.A.E.(absolut u. relativ)					
	1.Qu.E.	Med.E.	3.Qu.E.	3.-1.	F	d	f	F	d	f
Orig.	3,69	7,80	19,03	5,34	40,52	3,54	0,83	0,65	0,60	1,00
3	3,19	7,32	14,08	10,89	41,86	4,43	0,68	0,92	0,76	1,01
5	5,19	10,93	17,46	12,27	50,37	5,72	0,64	1,05	0,99	0,99
Erw.	3,28	4,46	9,66	6,39	48,32	2,24	0,84	0,75	0,39	1,03

Stufe	Entfernung im Relativraum				Parameter der S.A.E.(absolut u. relativ)					
	1.Qu.E.	Med.E.	3.Qu.E.	3.-1.	F	d	f	F	d	f
Orig.	1,93	7,35	14,22	12,29	41,57	6,01	0,48	0,76	0,90	0,77
3	2,03	6,89	13,98	11,95	38,74	5,18	0,68	0,87	0,77	0,95
5	0,97	4,50	11,47	10,50	38,47	4,02	0,68	0,69	0,60	0,92
Erw.	2,08	7,56	14,15	12,07	41,82	4,93	0,55	0,79	0,74	0,76

Stufe	Entfernung im Relativraum				Parameter der S.A.E.(absolut u. relativ)					
	1.Qu.E.	Med.E.	3.Qu.E.	3.-1.	F	d	f	F	d	f
Orig.	3,69	10,76	18,22	14,52	34,41	9,13	0,85	0,73	1,30	1,23
3	3,47	7,73	14,81	11,34	40,50	5,92	0,68	0,93	0,85	1,04
5	4,21	9,02	15,59	11,37	46,75	5,94	0,70	0,97	0,85	0,99
Erw.	3,42	5,76	12,24	8,82	47,04	5,07	0,78	0,88	0,72	1,08

Abkürzungen : 1.Qu.E. := ordinale 1.Quartil-Entfernung im Relativraum
Med.E. := ordinale Median-Entfernung im Relativraum
3.Qu.E. := ordinale 3.Quartil-Entfernung im Relativraum
3.-1. := Interquartilvariationsbreite

Tabelle 55

Approximation der Originalmatrix

Den Teilsystemen I, II entsprechende Ausschnitte aus den Präferenzmatrizen von Original
und allen durchgeführten Modellapproximationen, nach Punktmustern getrennt

Süd-VB	Stufe 3					Teilsystem I					Stufe 5					Erweiterung				
	1	2	3	6	11	1	2	3	6	11	1	2	3	6	11	1	2	3	6	11
1	-	2,16	4,18	1,46	1,82	1	-	2,21	6,77	1,18	2,34	1	-	0,82	5,03	1,39	1,70			
2	2,10	-	2,06	1,53	1,29	2	1,76	-	1,40	0,86	1,41	2	0,84	-	3,25	1,97	1,60			
3	4,14	2,10	-	1,49	1,57	3	0,01	0,04	-	0,04	0,19	3	0,01	0,12	-	0,36	0,64			
6	1,48	1,60	1,53	-	1,24	6	0,60	1,15	1,46	-	0,13	6	1,04	1,22	2,94	▼	1,79			
11	1,82	1,33	1,59	1,23	-	11	3,53	1,35	2,59	1,27	-	11	1,31	1,38	2,24	1,46	-			

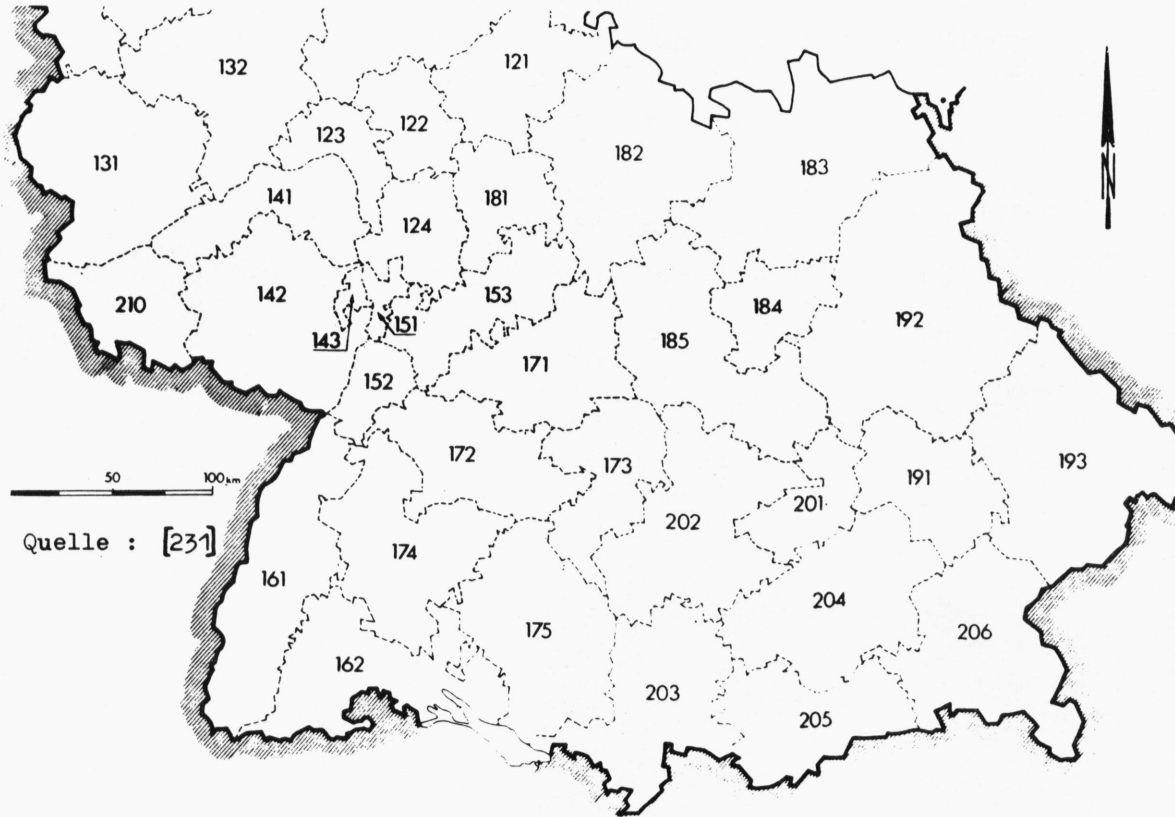
Hexagonal	Stufe 3					Stufe 5					Original						
	1	2	3	6	11	1	2	3	6	11	1	2	3	6	11		
1	-	1,26	2,04	2,03	2,58	1	-	1,16	3,02	3,20	4,11	1	-	2,02	4,50	0,95	0,86
2	1,22	-	1,80	0,98	0,93	2	1,24	-	1,49	0,89	0,94	2	0,61	-	3,50	1,26	1,56
3	2,09	1,90	-	1,37	1,19	3	3,29	2,51	-	1,64	1,15	3	1,16	1,31	▼	5,88	4,87
6	2,07	1,03	1,36	-	2,19	6	2,98	0,80	1,46	-	3,43	6	0,61	2,46	3,57	-	0,90
11	2,61	0,97	1,17	2,17	-	11	2,03	0,94	1,07	1,50	-	11	0,02	7,71	2,32	0,25	-

Teilsystem II

Süd-VB	Stufe 3					Stufe 5					Erweiterung						
	7	8	15	19	20		7	8	15	19	20		7	8	15	19	20
7	-	1,34	0,84	0,80	0,86	7	-	1,82	1,05	0,67	0,73	7	-	2,60	1,06	0,74	0,44
8	1,26	-	0,71	1,12	1,23	8	1,86	-	0,50	1,93	2,41	8	1,30	-	0,49	1,87	4,81
15	0,91	0,82	-	1,06	0,95	15	0,82	0,72	-	1,09	0,96	15	0,83	0,53	-	1,28	0,99
19	0,73	1,10	0,89	-	1,43	19	0,74	0,83	1,01	-	1,14	19	0,68	1,32	0,60	-	3,15
20	0,78	1,19	0,80	1,42	-	20	0,82	0,71	0,91	0,91	-	20	0,88	1,62	0,72	0,86	-

Hexagonal	Stufe 3					Stufe 5					Original						
	7	8	15	19	20	7	8	15	19	20	7	8	15	19	20		
7	-	1,58	0,94	0,75	1,00	7	-	1,99	0,97	0,64	0,95	7	-	3,10	3,66	0,40	0,37
8	1,51	-	1,17	0,97	1,43	8	1,75	-	1,36	0,93	1,64	8	0,77	-	0,09	0,06	6,00
15	0,97	1,27	-	1,21	0,95	15	0,89	1,43	-	1,35	0,89	15	1,29	0,06	-	0,00	0,98
19	0,71	0,95	1,11	-	1,17	19	0,52	0,90	1,25	-	1,20	19	0,06	0,25	0,06	-	0,72
20	0,93	1,39	0,86	1,15	-	20	0,91	1,02	0,94	0,93	-	20	0,82	1,93	0,27	1,91	-

Ausgewählte Verkehrsbezirke in Süddeutschland



Quelle : [231]

Baden-Württemberg

Nummer	Name	
	Text	Karte
1	151	Mannheim
2	152	Karlsruhe
3	153	Heidelberg
4	161	Freiburg
5	162	Konstanz
6	171	Heilbronn
7	172	Stuttgart
8	173	Ulm
9	174	Tübingen
10	175	Ravensburg

Bayern

Nummer	Name	
	Text	Karte
11	181	Aschaffenburg
12	182	Würzburg/Schw.f.
13	183	Bayreuth/Bamberg
14	184	Nürnberg
15	185	Ansbach
16	191	Landshut
17	192	Regensburg
18	193	Passau/Straubing
19	201	Ingolstadt
20	202	Augsburg
21	203	Kempten/Kaufb.
22	204	München
23	205	Garm.-Partenk.
24	206	Rosenheim

Für die Modellrechnungen benutzte Punktmuster

Hexagonal



Verzerrung



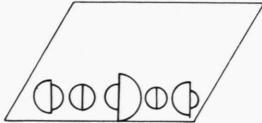
Süd - VB



Aufbau der vorliegenden Untersuchung

Modellentwicklung in fünf Stufen der sukzessiven Strukturierung des Raumes

Stufe
1



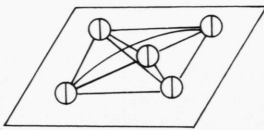
Aufkommen

Raumvariable

Aufwandsperzeption
(Entfernungsfunktion)

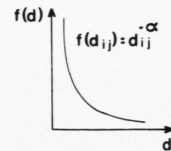
V_1, \dots, V_n
variabel
 E_1, \dots, E_n

2

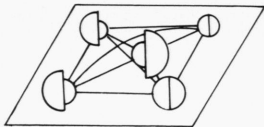


V_1, \dots, V_n
konstant
 E_1, \dots, E_n

-Distanz
(ordinale EM)
-Relative Lage

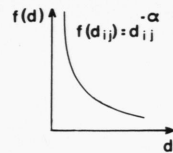


3

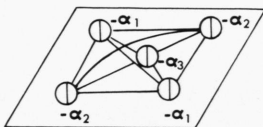


V_1, \dots, V_n
variabel
 E_1, \dots, E_n

-Distanz
(reale EM)
-Relative Lage

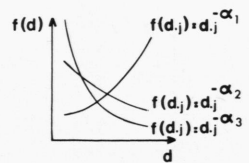


4

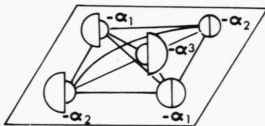


V_1, \dots, V_n
konstant
 E_1, \dots, E_n

-Distanz
(reale EM)
-Relative Lage

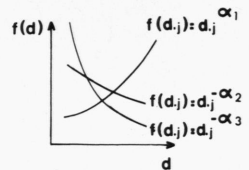


5



V_1, \dots, V_n
variabel
 E_1, \dots, E_n

-Distanz
(reale EM)
-Relative Lage



Versand - Aufkommen
Empfangs -

..... Distanzen;
Relative Lage - Verhältnisse

$-\alpha_2$ Lokaler Exponent der
Entfernungsfunktion